



Levantamento do estado da arte do uso de inibidores verdes à base de plantas para proteção contra a corrosão

Eric Gripa Marques

Monografia em Engenharia Química

Orientadores

Prof. Simone Louise Delarue C. Brasil, D.Sc.

Gabriel Batalha Leoni, D.Sc

Setembro de 2021

Levantamento do estado da arte do uso de inibidores verdes à base de plantas para proteção contra a corrosão

Eric Grippa Marques

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Maria José de O. C. Guimarães, D.Sc.

Rodrigo de Siqueira Melo, D.Sc.

Orientado por:

Simone Louise Delarue C. Brasil, D.Sc.

Gabriel Batalha Leoni, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Setembro de 2021

GG8681 Grippa Marques, Eric
Levantamento do estado da arte do uso de
inibidores verdes à base de plantas para proteção
contra a corrosão / Eric Grippa Marques. -- Rio de
Janeiro, 2021.
127 f.

Orientadora: Simone Louise Delarue Cezar Brasil.
Coorientador: Gabriel Batalha Leoni.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Química, Bacharel em Engenharia Química, 2021.

1. Corrosão. 2. Inibidor verde. 3. Extrato
vegetal. 4. Metais industriais. 5. Estado da arte.
I. Louise Delarue Cezar Brasil, Simone, orient. II.
Batalha Leoni, Gabriel, coorient.

Para meu irmão Everton e minha mãe Eliane,
Que me demonstraram ao longo da vida que é preciso coragem para viver nossos sonhos.

“Si nous allons assez loin, nous finirons bien par arriver quelque part”

Dorothée, Le Magicien d’Oz.

Agradecimentos

Tempos difíceis requerem apoio para serem superados. Esse trabalho nasceu em um contexto muito duro de distanciamento social e requereu muito suporte até sua conclusão. Ligações que acalmavam o coração de quem estava a um oceano de distância, encontros que acalmavam a cabeça de quem estava a quilômetros de distância e abraços que acalmavam a alma de quem estava a um cômodo de distância. Cada um merece seu devido agradecimento.

Agradeço ao meu amor, Eric, pelo carinho de me escutar em meus momentos de angústia, pela destreza na escolha das palavras para me encorajar e pela paciência de observar de perto todos os meus momentos de procrastinação e não soltar da minha mão. Esse trabalho é por você.

Agradeço ao meu irmão, Everton, pelos inúmeros conselhos sempre bem-vindos, por repetidas vezes abrir e facilitar meus caminhos em todas as frentes da vida e por uma vida inteira de companheirismo e amizade. Esse trabalho é por você.

Agradeço à minha mãe, Eliane, pela comida de mãe que facilitou todo o processo, pelo amor e esforço investido em mim durante todos os meus anos e pela companhia durante o período mais difícil e incerto que já vivemos. Esse trabalho é por você.

Por fim, agradeço imensamente aos meus orientadores, Simone e Gabriel, pela disponibilidade, compreensão, confiança e abertura para comprar minhas ideias e acreditar no potencial desse trabalho.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Levantamento do estado da arte do uso de inibidores verdes à base de plantas para proteção contra a corrosão

Eric Grippa Marques

Setembro, 2021

Orientadores: Prof. Simone Louise Delarue C. Brasil, D.Sc.

Gabriel Batalha Leoni, D.Sc.

Resumo

A corrosão, definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, representa um desafio para a economia global, podendo gerar impactos industriais e ambientais. Com objetivo de contornar esse problema, são estudados diversos métodos de combate à corrosão. Dentre os métodos existentes, destaca-se o uso de inibidores de corrosão, por sua eficiência, baixo custo e fácil aplicação *in situ*. Mais especificamente, produtos de origem natural, em especial extratos de plantas, são de fácil acesso e economicamente viáveis, o que fez com que pesquisadores avaliassem extensivamente a utilização de extratos de um vasto catálogo de plantas como inibidores de corrosão. Este estudo avaliou o estado da arte das pesquisas envolvendo inibidores verdes de corrosão à base de insumos vegetais. A literatura referente à última década foi levantada com o auxílio da ferramenta de pesquisa avançada do *Web of Science*, com foco em meios corrosivos ácidos (HCl, H₂SO₄ e HNO₃) e meio salino (NaCl). A análise de mais de 500 publicações levantadas permitiu a construção de um repositório de dados, contendo informações-chave (como plantas utilizadas como insumo, metal avaliado, eficiência de inibição etc.), que viabilizou o cruzamento dessas informações para avaliação crítica sobre o cenário dessa tecnologia. A partir da análise crítica da base de dados foi possível concluir que é crescente a busca de inibidores verdes de corrosão de base vegetal e, nesse contexto, é de suma importância a investigação do uso de resíduos vegetais como insumo para essa tecnologia, além de buscar a combinação de insumo vegetal e solvente de extração que maximize a eficiência de inibição de corrosão do extrato. Por fim, foram apontadas tendências para pesquisas futuras, como estudo dos principais resíduos do cenário agrícola-industrial brasileiro como inibidor de corrosão e elevação do potencial de inibição de corrosão dos insumos vegetais via otimização do processo de extração.

Palavras-chave: Corrosão; Inibidor verde; Extrato vegetal; Metais industriais; Estado da arte.

Índice

1. Introdução.....	14
1.1. Contextualização.....	14
1.2. Objetivos.....	15
1.3. Estrutura.....	15
2. Revisão Bibliográfica.....	16
2.1. Corrosão.....	16
2.2. Impactos da corrosão	18
2.3. Métodos de prevenção e combate à corrosão	20
2.4. Inibidores de corrosão.....	21
2.5. Inibidores verdes.....	24
2.6. Eficiência dos inibidores de corrosão	26
3. Metodologia	31
3.1. Levantamento de dados da literatura – <i>Web of Science</i>	31
3.2. Avaliação e seleção das publicações disponíveis	33
3.3. Análise de tendências das publicações	34
4. Resultados e Discussão	36
4.1. Dados disponíveis na Literatura – <i>Web of Science</i>	36
4.1.1. Interseções dos meios corrosivos	36
4.1.2. Distribuição geográfica das publicações	38
4.2. Repositório de publicações disponíveis na literatura.....	39
4.3. Tendências da pesquisa sobre inibidores a base de plantas	62
4.3.1. Ano de publicação	62
4.3.2. Metal/liga metálica onde a corrosão ocorre.....	63
4.3.3. Partes da planta usadas como insumo.....	64
4.3.4. Solvente utilizado para a extração	66
4.3.5. Mecanismo de inibição	70
4.3.6. Eficiência de inibição	71
4.3.7. Plantas utilizadas como insumo.....	72

5.	Conclusões	76
5.1.	Principais constatações	76
5.2.	Considerações finais	77
5.3.	Sugestões para pesquisas futuras	78
6.	Referências bibliográficas	79

Índice de Figuras

Figura 1. Classificação dos meios corrosivos. Fonte: adaptado de Salleh [3].....	16
Figura 2. Principais fenômenos envolvidos na corrosão de aço carbono em meio aquoso aerado. Fonte: Pannoni [7].....	18
Figura 3. Classificação dos inibidores verdes de corrosão. Fonte: adaptado de Salleh [3].	25
Figura 4. Estrutura química de alguns exemplos de flavonoides presentes em extratos vegetais, sendo (a) kaempferol, (b) quercetina, (c) apeginina e (d) luteolina. Fonte: adaptado de Rocha [8]	26
Figura 5. Processo de criação do código de pesquisa de publicações disponíveis na <i>Web of Science</i>	31
Figura 6. Número de publicações retornadas pelo <i>Web of Science</i> para cada um dos 4 meios corrosivos avaliados (HCl, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ e NaCl).....	36
Figura 7. Distribuição das publicações retornadas pelo <i>Web of Science</i> de acordo com os respectivos meios corrosivos avaliados.	37
Figura 8. Distribuição das publicações encontradas pelas pesquisas realizadas no <i>Web of Science</i> pela região geográfica dos respectivos centros de pesquisa.	38
Figura 9. Distribuição do número de publicações retornadas pelo <i>Web of Science</i> com os códigos de pesquisa consolidados ao longo dos anos (2011-2020) nos três meios corrosivos avaliados (HCl, H ₂ SO ₄ e NaCl).	62
Figura 10. Número de publicações obtidas através do <i>Web of Science</i> de acordo com o tipo de metal-base utilizado na verificação da eficiência de inibição da corrosão.	63
Figura 11. Número de publicações obtidas através do <i>Web of Science</i> de acordo com as partes das plantas usadas na produção dos extratos utilizados como inibidores de corrosão.	64
Figura 12. Comparação das eficiências de inibição de corrosão relatadas nas publicações que utilizam casca de semente de girassol, efluente de moagem de azeitonas e morangos como matéria-prima para os extratos utilizados como inibidores de corrosão.....	66
Figura 13. Número de publicações obtidas através do <i>Web of Science</i> de acordo com o solvente usado na extração dos insumos de plantas utilizados como inibidores de corrosão.	67
Figura 14. Solvente utilizado na produção dos extratos de plantas de todos os estudos que apresentaram eficiência de inibição de corrosão superior a 95% em ligas ferrosas para meios corrosivos compostos por 1 M HCl.	68

Figura 15. Eficiências médias de inibição de corrosão de ligas ferrosas em meios corrosivos ácidos para extratos das plantas <i>Olea europaea</i> , <i>Camellia sinensis</i> , <i>Punica granatum</i> e <i>Phoenix dactylifera</i> em diferentes solventes.....	69
Figura 16. Mecanismos de ação dos inibidores de corrosão de acordo com o reportado nas publicações avaliadas.	70
Figura 17. Classificação das condições experimentais verificadas pelas publicações avaliadas de acordo com a eficiência de inibição da corrosão reportada pelos autores.	71
Figura 18. Classificação das condições experimentais verificadas pelas publicações avaliadas de acordo com a média da eficiência de inibição da corrosão reportada pelos autores para tal grupamento de trabalhos.	73
Figura 19. Eficiências de inibição de corrosão classificadas por plantas mencionadas em pelo menos 4 publicações.	73

Índice de Tabelas

Tabela 1. Classificação dos métodos de prevenção e combate à corrosão	21
Tabela 2. Testes de laboratório mais comumente empregados para a avaliação da eficiência dos inibidores de corrosão.	27
Tabela 3. Códigos de pesquisa referentes aos meios corrosivos específicos.	32
Tabela 4. Repositório de informações das publicações disponíveis na literatura sobre inibidores verdes a base de planta entre os anos de 2011 e 2020 para os meios corrosivos compostos por HCl, H ₂ SO ₄ ou NaCl.	40

1. Introdução

1.1. Contextualização

A corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente. Essa deterioração pode causar alterações indesejáveis no material, como perda de espessura, fragilização, falhas e, em última instância, ruptura do mesmo, o que o torna inadequado ao uso. Os meios corrosivos mais comuns são compostos por soluções aquosas devido à maioria dos fenômenos ocorrerem em meios em que a água é o principal solvente.

A corrosão representa um desafio para a economia global, podendo gerar impactos diretos (substituição das estruturas corroídas ou seus componentes) ou indiretos (paradas de produção, perda de produção, perda de eficiência, contaminação do produto ou superdimensionamento dos equipamentos) que acarretam, em última instância, em exploração excessiva dos recursos minerais. Para evitar estes contratempos, a avaliação de métodos de combate à corrosão se faz necessária.

Dentre os métodos existentes para controle da corrosão interna de sistemas fechados, destaca-se o uso de inibidores de corrosão por serem considerados eficientes, pouco custosos e de fácil aplicação *in situ*, sem necessidade de interrupção do processo. Inibidores de corrosão são substâncias adicionadas em pequenas quantidades ao meio corrosivo a fim de evitar, prevenir ou impedir o desenvolvimento das reações de corrosão, o que reduz a taxa de dissolução da superfície metálica. Historicamente, o íon cromato e seus derivados foram aplicados em larga escala como inibidores de corrosão devido ao seu elevado potencial de inibição, porém, os impactos negativos na saúde humana e do meio ambiente forçaram a interrupção de seu uso para essa finalidade.

Portanto, surgiu a necessidade de desenvolver tecnologias limpas direcionadas aos inibidores de corrosão, como é o caso dos inibidores verdes. Dentre os inibidores verdes, pode-se destacar o uso de extratos de frutas, vegetais, cereais e subprodutos industriais. Produtos químicos de origem natural, especialmente extratos de plantas, são de fácil acesso e economicamente viáveis, o que fez com que pesquisadores avaliassem a utilização de extratos de um vasto catálogo de plantas como inibidores de corrosão.

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o estado da arte das pesquisas envolvendo inibidores verdes de corrosão produzidos a partir de insumos de origem vegetal. Para isso, um levantamento exaustivo do material disponível na literatura referente à última década foi realizado com o auxílio da ferramenta de pesquisa avançada do *Web of Science*. Buscou-se verificar todas as publicações disponíveis na plataforma sobre o tema tanto para meios corrosivos ácidos (HCl, H₂SO₄ e HNO₃) quanto para o meio salino (NaCl).

Em posse desse material, buscou-se avaliá-lo de modo a extrair informações-chave (como as plantas utilizadas como insumo, metal-base avaliado, eficiência de inibição, etc.) que permitissem a construção de um repositório de dados. Tal repositório viabilizou um cruzamento dessas informações de maneira rápida e dinâmica de modo a lançar um olhar crítico sobre o cenário dessa tecnologia. Dessa forma, buscou-se promover o debate sobre estudos já realizados e apontar tendências para pesquisas futuras, tomando como base todo o *roadmap* traçado para este período.

1.3. Estrutura

Este trabalho está dividido em 6 capítulos, sendo o primeiro deles, este, um capítulo introdutório, onde a temática dos inibidores verdes de corrosão é contextualizada e os objetivos e estrutura do trabalho são apresentados. No capítulo 2, é realizada uma breve revisão bibliográfica de modo a alinhar conceitos e estabelecer diretrizes para o desenvolvimento do trabalho. No capítulo 3 é apresentada a metodologia, onde são descritos os mecanismos e ferramentas utilizados para a coleta e avaliação dos dados de interesse da literatura. No capítulo 4, são apresentados os resultados da pesquisa e avaliação dos dados disponíveis na literatura sobre o tema, bem como as discussões suscitadas pelos mesmos. O capítulo 5 traz as principais conclusões do trabalho realizado e sugestões para as pesquisas realizadas futuramente. Por fim, o capítulo 6 lista as referências bibliográficas.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Corrosão

A corrosão é definida por Gentil [1] como a deterioração de um material metálico por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, a qual pode estar associada ou não a esforços mecânicos. Essa deterioração causada pela interação físico-química do material com o meio operacional representa alterações indesejáveis sofridas pelo material, como perda de espessura, fragilização, falhas e, em última instância, ruptura do mesmo, o que o torna inadequado ao uso. Ainda segundo o autor, sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, ela constantemente provoca a transformação de materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixam de satisfazer os fins a que se destinam, tornando-os inadequados para o uso.

Já McCafferty [2] define a corrosão como o ataque destrutivo do metal pela reação com o ambiente, podendo existir diversos meios possíveis, dependendo da aplicação do metal. Os meios corrosivos mais comuns, segundo o autor, seriam aqueles constituídos por soluções aquosas, e, no caso de corrosão atmosférica, a solução aquosa corresponderia a uma fina camada condensada ao invés do *bulk* de uma solução, apesar de os fenômenos corrosivos serem, essencialmente, os mesmos.

A Figura 1 classifica os diversos tipos de meios corrosivos, destacando os que foram avaliados no presente trabalho.

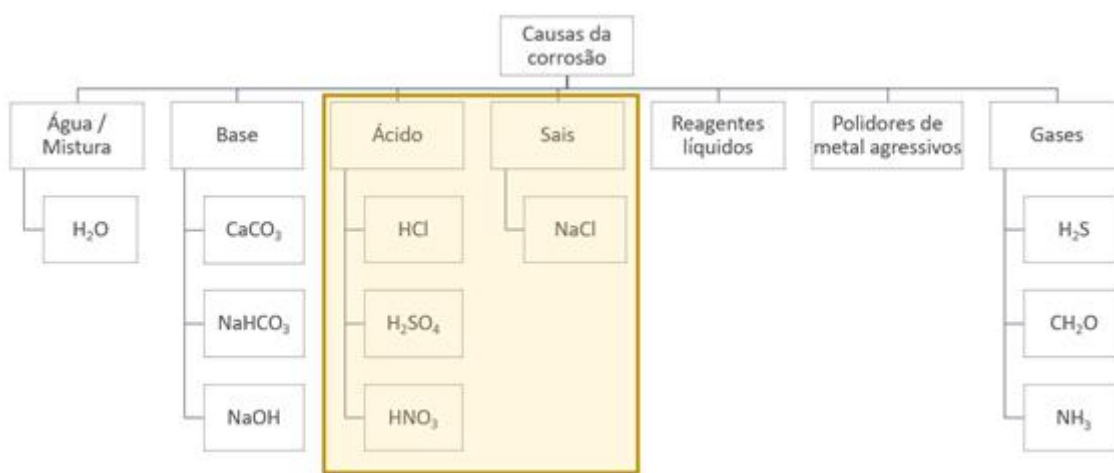


Figura 1. Classificação dos meios corrosivos. **Fonte:** adaptado de Salleh [3].

À exceção dos metais que são encontrados de forma nativa, por exemplo Pt e Au, a maioria dos metais existe na natureza como minérios, que são formas impuras (geralmente sulfetos ou óxidos) [4]. Para se obter metais puros ou ligas a partir de tais minérios, lança-se mão de processos da metalurgia extrativa, os quais, através da aplicação de energia, conseguem produzir materiais com estados de maior energia. Portanto, ao longo de sua vida útil, esses metais apresentam a tendência de retornar às suas formas mais estáveis, de menor energia (com composição química similar aos minérios), o que caracteriza o processo de corrosão [5].

Os principais meios corrosivos são: atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos e, em menor escala, alimentos, substâncias fundidas, solventes orgânicos, entre outros [1]. Como já mencionado, a corrosão em meios aquosos é a mais comum devido a maioria dos fenômenos ocorrerem em meios em que a água é o principal solvente [6]. De acordo com Pannoni [7], soluções aquosas correspondem ao meio corrosivo em cerca de 90% dos processos de corrosão. Além disso, a presença de íons cloreto, pH, temperatura, velocidade e ação mecânica também devem ser considerados, pois aumentam consideravelmente a ação corrosiva do meio aquoso [8].

Para fins de exemplificação, a corrosão por processo eletroquímico de ferro metálico em meio aquoso aerado se dá através das reações de oxidação (Equação 1), que ocorre na região anódica, e de redução (Equação 2), que ocorre na região catódica. A reação global do processo corrosivo deste exemplo (Equação 3) descreve a formação de um dos possíveis produtos de corrosão formados, o hidróxido de ferro.



Os principais fenômenos envolvidos neste mesmo processo encontram-se ilustrados na Figura 2.

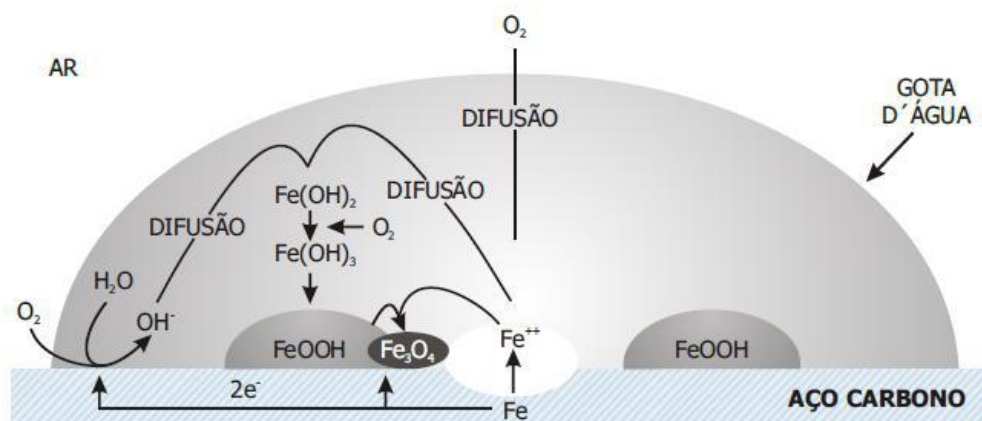


Figura 2. Principais fenômenos envolvidos na corrosão de aço carbono em meio aquoso aerado. **Fonte:** Pannoni [7].

A corrosão pode ocorrer uniformemente na superfície metálica ou de forma localizada. A corrosão uniforme é caracterizada pelo ataque químico ou eletroquímico que ocorre em toda a superfície do metal ou em uma grande área da mesma, sem que nenhuma porção seja atacada preferencialmente, como ocorre com o aço em ambientes agressivos ao ar livre. Nestes casos, existem áreas anódica e catódica distribuídas por toda a superfície do metal, o que resulta em um ataque uniforme [2].

Já na corrosão localizada, os anodos e catodos assumem posições fixas de modo que a corrosão ocorre em porções estabelecidas da superfície metálica. Os tipos de corrosão localizada mais comuns são a corrosão por pite e a corrosão alveolar, nas quais o metal é atacado em posições da superfície metálica. No caso de superfícies onde há presença de filme de óxido protetor, o processo corrosivo localizado representa a sua ruptura localizada, geralmente devido à ação de íons cloreto, gerando pequenos sulcos na superfície metálica [2]. As corrosões por pite e alveolar se diferenciam pela forma dos sulcos formados pela corrosão, sendo pites estruturas com maior profundidade do que diâmetro e alvéolos, com relação inversamente proporcional entre essas dimensões [9].

2.2. Impactos da corrosão

A corrosão representa um desafio para a economia global. De acordo com estudo publicado em 2017, seu custo anual global estimado em USD\$ 2,5 trilhões [10]. No Brasil, estima-se que este custo ultrapasse o valor de USD\$ 30 bilhões, valor que

corresponde a aproximadamente 3,5% do PIB nacional [11]. Esse custo apresenta tendência de aumento ao longo dos anos devido ao avanço tecnológico. O Japão, por exemplo, apresentou custo estimado com corrosão de USD\$ 9,2 bilhões e USD\$ 90,2 bilhões em 1977 e em 1999, respectivamente [5], o que representa um aumento bastante significativo.

Tais custos podem representar perdas econômicas diretas ou indiretas. Perdas diretas incluem a substituição das estruturas corroídas ou seus componentes. Estima-se que mais de 30% do aço produzido no mundo seja usado na reposição de peças e partes de equipamentos de instalações deteriorados pela corrosão [8]. Já perdas indiretas podem estar associadas a paradas de produção, perda de produção, perda de eficiência, contaminação do produto ou superdimensionamento dos equipamentos [12]. Perdas indiretas representam uma parte substancial dos custos impostos pela corrosão, embora seja difícil estimar a perda total [9].

Além dos custos, a corrosão também pode resultar em catástrofes. Umoren *et al.* [5] reportaram alguns exemplos de desastres ocorridos devido à corrosão ao longo da história. São eles:

1. A explosão de uma tubulação de óleo em Qingdao, no leste da China em novembro de 2013 devido a um trecho subterrâneo corroído, o que causou a morte de 62 pessoas e feriu outras 136, além de um prejuízo econômico direto de USD\$ 124,9 milhões para a companhia responsável.
2. A explosão de uma tubulação de gás natural de 30 polegadas no Novo México, Estados Unidos em agosto de 2000 devido à redução significativa da espessura da parede da tubulação devido à corrosão severa ao longo de 50 anos. A explosão causou a morte de 12 pessoas e a destruição de 3 veículos.
3. O vazamento para o mar de 300 m³ de água contaminada da planta nuclear de Fukushima, Japão em agosto de 2013 devido a falhas em vedações ocasionada por corrosão. A pesca na região foi banida e a limpeza foi estimada em mais de USD\$ 100 bilhões e deve durar por quase 40 anos.

Portanto, faz-se necessário considerar os custos da corrosão já na fase de projeto de uma instalação industrial a fim de se evitar ou minimizar futuros processos corrosivos [9]. Nesse contexto, o desenvolvimento de métodos de prevenção e combate à corrosão se torna fundamental.

2.3. Métodos de prevenção e combate à corrosão

No estudo de um processo corrosivo devem ser sempre consideradas as variáveis dependentes do material metálico, da forma de emprego e do meio corrosivo [9]. De acordo com Gentil [1], os métodos práticos utilizados para reduzir a corrosão de materiais metálicos podem ser classificados conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos métodos de prevenção e combate à corrosão

Modificação do processo	Modificação do projeto da estrutura
	Modificação das condições na interface corrosiva (temperatura, pressão, etc.)
	Implementação de proteção catódica
	Seleção de materiais
Modificação da superfície metálica	Aumento da pureza do metal
	Adição de elementos (liga metálica)
	Tratamento térmico
Uso de revestimentos protetores	Tratamento químico ou eletroquímico da superfície metálica (revestimento de conversão, por exemplo a anodização)
	Revestimentos orgânicos (tintas, resinas ou polímeros)
	Revestimentos inorgânicos (esmaltes, cimentos)
	Revestimentos metálicos
	Protetores temporários
Modificação do meio corrosivo	Desaeração da água ou solução
	Purificação ou diminuição da umidade do ar
	Adição de inibidores de corrosão

Fonte: adaptado de Gentil [1]

Dentre os métodos apresentados, destaca-se o uso de inibidores de corrosão por serem considerados eficientes, pouco custosos e de aplicação fácil em sistemas fechados [13].

2.4. Inibidores de corrosão

Inibidores de corrosão são substâncias ou misturas de substâncias adicionadas ao meio corrosivo, geralmente em fase aquosa (podendo em casos raros ser usados em fase

vapor, embora menos comumente aplicados), a fim de evitar, prevenir ou impedir o desenvolvimento das reações de corrosão [14]. São produtos químicos capazes de reduzir a taxa de dissolução da superfície metálica quando adicionados em pequenas quantidades a meios corrosivos [13]. Fatores como tipo e agressividade do meio, concentração, temperatura, velocidade de fluxo e natureza do metal são importantes na escolha do inibidor adequado [1,8]. Para atuar de forma eficiente, o inibidor deve ser compatível com o meio corrosivo, com o substrato metálico e ser economicamente viável [15], o que implica em ter uma baixa concentração de aplicação para gerar bons resultados de eficiência de inibição da corrosão. Estas substâncias têm a vantagem de ser de fácil aplicação *in situ* e de não necessitar da interrupção do processo [16].

De acordo com Kina [17], a maioria das aplicações dadas a inibidores de corrosão ocorre para meios corrosivos ácidos devido à elevada corrosividade desse tipo de meio. A maioria dos inibidores para meios ácidos amplamente conhecidos são os compostos orgânicos contendo átomos de nitrogênio, enxofre e oxigênio. A influência dos compostos orgânicos contendo nitrogênio, como aminas e compostos heterocíclicos, na corrosão do aço carbono em soluções ácidas é constante objeto de estudo por parte da comunidade científica [18].

A ação dos inibidores de corrosão é associada a mudanças na superfície metálica a ser protegida, seja devido à adsorção do próprio inibidor ou à formação de compostos pouco solúveis ou insolúveis que contêm cátions do metal a ser protegido [16]. Tais compostos agem diminuindo as áreas eletricamente ativas na superfície do metal, dificultando as reações eletroquímicas associadas aos processos corrosivos que incidem sobre a superfície metálica [19,20].

Os inibidores de corrosão podem ser classificados com base na sua composição química (orgânicos e inorgânicos) e no seu comportamento (anódicos, catódicos, mistos e de adsorção) [1]. Inibidores inorgânicos atuam oxidando a superfície do metal de modo a formar uma camada protetora, enquanto inibidores orgânicos possuem heteroátomos, insaturações, anéis aromáticos ou outras estruturas de elevada densidade eletrônica que favorecem a adsorção da molécula orgânica na superfície metálica, impedindo ou retardando as reações anódicas e/ou catódicas [6,21].

Inibidores classificados como anódicos são aqueles que atuam de forma a retardar ou impedir a ocorrência das reações anódicas do processo corrosivo. Podem ser divididos em agentes oxidantes, que promovem a passivação da superfície metálica (como cromatos, molibdatos e sais férricos), e agentes formadores de camada, que agem através da precipitação de uma camada insolúvel sobre a região anódica (como hidróxidos, fosfatos, silicatos e benzoatos) [1]. Vale ressaltar que a concentração de inibidor anódico adicionado ao meio corrosivo deve ser avaliada com cuidado a fim de evitar a formação de filmes descontínuos que não protegem toda a região anódica [17]. Um filme não contínuo sobre o substrato metálico pode resultar em uma elevada corrente nas regiões anódicas não protegidas, acelerando a corrosão nestes pontos [1].

Inibidores catódicos atuam polarizando as regiões catódicas da superfície metálica, reduzindo o fluxo de elétrons para esta região através de sua deposição sobre essa região (como óxidos e sais de antimônio, arsênio e bismuto) [1]. Como esses inibidores atuam reduzindo o fluxo de elétrons, não há dissolução do metal na região anódica e, portanto, não há grandes prejuízos caso o filme de inibidores não recubra totalmente a superfície a fim de se evitar a corrosão [17]. De forma intuitiva, inibidores mistos são misturas de agentes inibidores catódicos e anódicos, os quais geram deposição de filmes protetores tanto nas regiões catódicas quanto nas anódicas, reduzindo a velocidade de ambas as reações [1].

Os inibidores de adsorção atuam formando filmes protetores sobre as regiões catódicas e anódicas por adsorção dos próprios compostos à superfície metálica [1]. Os inibidores de adsorção são compostos orgânicos que apresentam insaturações e/ou grupamentos fortemente polares, heteroátomos de nitrogênio, oxigênio ou enxofre e cuja estrutura geralmente possui partes hidrofóbicas e hidrofílicas ionizáveis (como aminas, aldeídos, mercaptans, compostos heterocíclicos nitrogenados, compostos contendo enxofre e compostos acetilênicos) [1].

O processo de adsorção envolve o transporte do inibidor até a superfície do metal e consequente interação do inibidor com essa superfície, onde ocorre o deslocamento da água adsorvida na superfície do metal pelo inibidor. Para uma adsorção efetiva do inibidor, as forças de interação do metal com o inibidor devem ser superiores as forças de interação do metal com a água [22]. Fatores como concentração do inibidor, temperatura, velocidade e composição do fluido do sistema, natureza da superfície e tempo de contato

entre o inibidor e o metal estão diretamente relacionadas à capacidade do inibidor de formar e manter um filme estável sobre a superfície metálica [9].

Historicamente, compostos inorgânicos, especialmente íon cromato e seus derivados, foram aplicados em larga escala como inibidores de corrosão devido ao seu elevado potencial de inibição, porém, o impacto negativo na saúde do meio ambiente e, em última instância, na saúde humana, forçou a interrupção de seu uso para essa finalidade [23]. Essa necessidade de substituição de compostos consolidados como inibidores de corrosão associada a um maior comprometimento com a minimização dos impactos adversos das atividades industriais ao meio ambiente resultou no desenvolvimento de tecnologias mais limpas direcionadas aos inibidores de corrosão, como é o caso dos inibidores verdes [24].

2.5. Inibidores verdes

Como já mencionado, embora apresentem boa atividade anticorrosiva, compostos sintéticos podem apresentar elevada toxicidade aos seres vivos e ao ambiente, a qual pode se manifestar tanto durante a síntese do composto como durante a sua aplicação [14]. Nesse contexto, há um aumento do interesse por produtos naturais que possam ser utilizados como inibidores de corrosão – os inibidores verdes.

Como descrito por Umoren *et al.* [5], agências regulatórias internacionais, como a britânica REACH (*Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals*) em associação com a francesa PARCOM (*Paris Commission*), estabelecem alguns requisitos para que uma substância seja classificada como inibidor verde de corrosão. Nesse sentido, a substância deve apresentar as seguintes características:

Ser não-bioacumulativa;

Ser biodegradável;

Apresentar nenhuma ou pouca toxicidade a ambientes aquáticos.

Entretanto, não existe uma definição exata para o que constitui um inibidor verde. Umoren & Eduok [25], por exemplo, os definem como produtos químicos que satisfazem

o nível reduzido de geração de substâncias perigosas e cujos processos que envolvem o seu uso são governados por química sustentável, sem efeitos negativos diretos ou indiretos ao meio ambiente ou impactos à saúde. Já Negm *et al.* [26] caracterizam os inibidores verdes como substâncias biodegradáveis, que não contêm metais pesados ou compostos tóxicos, e cuja obtenção envolva o uso de substâncias, técnicas e metodologias que reduzam a utilização de alimentos, produtos, subprodutos, solventes e reagentes, priorizando a utilização de extratos vegetais, líquidos iônicos, bioquímicos, inibidores orgânicos biodegradáveis e inibidores inorgânicos verdes.

A Figura 3 esquematiza a classificação atribuída a inibidores verdes de corrosão.

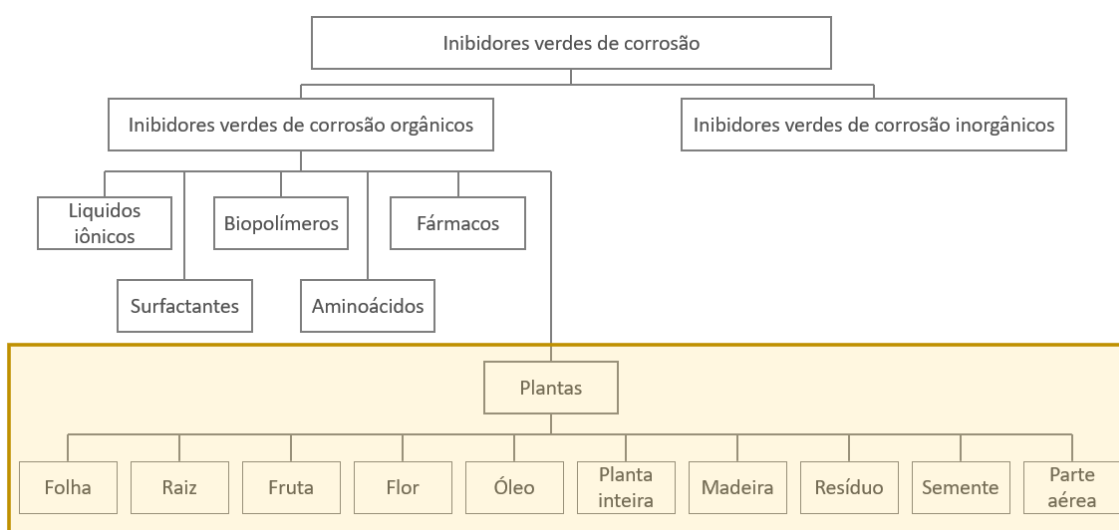


Figura 3. Classificação dos inibidores verdes de corrosão. **Fonte:** adaptado de Salleh [3].

Dentre os inibidores verdes, pode-se destacar o uso de extratos de frutas, vegetais, cereais e subprodutos industriais. Produtos químicos de origem natural, especialmente extratos de plantas (em destaque na Figura 3), podem, além de satisfazer os requisitos descritos acima, ser de fácil acesso e economicamente viáveis, o que fez com que inúmeros pesquisadores avaliassem a utilização de extratos de diversas partes de plantas como inibidores de corrosão [5]. Alguns desses estudos mostraram que compostos bioativos presentes nesses extratos podem apresentar eficiência de inibição de corrosão tão elevada quanto a de compostos sintéticos [27].

A atividade dos inibidores de corrosão em muitos desses extratos de plantas pode ser devida à presença de constituintes heterocíclicos como alcaloides, flavonoides,

taninos, celulose e compostos policíclicos, que podem levar à formação de um filme sobre a superfície metálica, evitando assim a corrosão [6,28]. A estrutura química de alguns flavonoides presentes em extratos de plantas, por exemplo, pode ser vista na Figura 4.

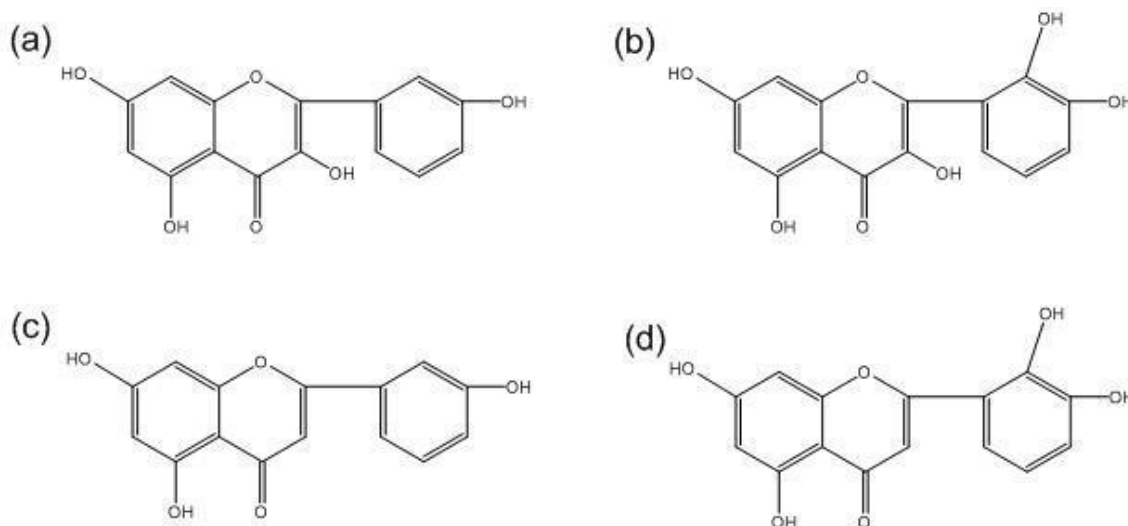


Figura 4. Estrutura química de alguns exemplos de flavonoides presentes em extratos vegetais, sendo (a) kaempferol, (b) quercetina, (c) apeginina e (d) luteolina. **Fonte: adaptado de Rocha [8]**

Umoren *et al.* [5] mencionam que artigos de revisão sobre extratos de plantas utilizados como inibidores de corrosão em diversos meios corrosivos foram publicados quase que anualmente nos últimos dez anos [27,29–33]. Entretanto, a maioria desses trabalhos apenas reporta os resultados dos trabalhos publicados na literatura, sem avaliar criticamente a deficiência da informação com relação ao desenvolvimento tecnológico e as perspectivas futuras.

2.6. Eficiência dos inibidores de corrosão

Diferentes técnicas podem reproduzir processos corrosivos em determinado material metálico sob determinada condição, de modo a estabelecer a taxa de corrosão e, assim, poder avaliar a eficiência dos inibidores de corrosão. Várias dessas técnicas estão apresentadas e brevemente descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Testes de laboratório mais comumente empregados para a avaliação da eficiência dos inibidores de corrosão.

Método do teste	Descrição	Tensão de cisalhamento do líquido (Pa)	Taxa de corrosão	Vantagens	Limitações
Teste de garrafa / teste de roda	Cupons inseridos em garrafas seladas contendo fluido condicionado com inibidor.	Agitação limitada gerada por rolamento.	Taxa de corrosão por ensaio de perda de massa.	Facilidade de uso e montagem, baixo custo e portabilidade para ensaios em campo.	Teste muito básico que representa mal as condições reais. Raramente utilizado.
Teste de célula sob agitação (<i>Bubble test</i>)	Eletrodo em forma de cupom montado em vaso selado e exposto, sob agitação, a fase aquosa previamente inibida.	~1 Pa; (velocidade do fluido na tubulação é tipicamente igual a 1 m s ⁻¹ .)	Taxa de corrosão a partir da resistência de polarização linear (LPR) ou por outros métodos eletroquímicos. Também é apropriado para medida de perda de massa.	Facilidade de uso, montagem e baixo custo. Flexível para considerar a influência do inibidor em formas de corrosão localizadas.	Baixo controle e definição das condições hidrodinâmicas na superfície, o que pode afetar a reprodutibilidade.
Eletrodo de cilindro rotacional (RCE)	Eletrodo em forma de cilindro rotacional orientado verticalmente, montado em vaso selado e exposto a fase aquosa previamente inibida.	Até ~80 Pa (quando velocidade do fluido na tubulação se aproxima de ~10 m s ⁻¹ .)	Taxa de corrosão a partir da LPR ou por outros métodos eletroquímicos.	Facilidade de montagem e custo relativamente baixo. Comumente usado para varredura em laboratório e seleção de inibidores em campo sob condições hidrodinâmicas de superfície bem definidas e reprodutíveis.	Não muito flexível para considerar a influência do inibidor em formas de corrosão localizadas.
Eletrodo de disco rotacional (RDE)	Eletrodo em forma de disco rotacional orientado horizontalmente, montado em vaso selado e exposto a fase aquosa previamente inibida.	Tensão de cisalhamento variável ao longo da superfície do disco, dependendo do tamanho/configuração.	-	Condição de estado estacionário rapidamente alcançada na superfície com alta reprodutibilidade, especialmente onde a difusão é um fator importante.	Mais apropriado para estudos de fundamentos eletroquímicos. Raramente usado para testes rotineiros de inibidores.

Flow loop de diâmetro pequeno	Tubulação em loop de diâmetro típico de 30 mm. Eletrodos/cupons são expostos a descarga de fluido inibido em recirculação.	Até ~250 Pa (quando velocidade do fluido na tubulação se aproxima de $\sim 15 \text{ m s}^{-1}$.)	Taxa de corrosão normalmente por LPR ou outro método eletroquímico, mas também é adequado à medida de perda de massa.	Mais apropriado ao pré-condicionamento de amostra de mistura de hidrocarboneto/água e ameaça de corrosão localizada.	Custo elevado, tamanho e complexidade operacional.
Impacto de jato (Jet impingement)	Geralmente combinado com RCE ou, possivelmente, RDE usando jato recirculado de fase aquosa previamente condicionada com inibidor sobre o eletrodo-teste.	Até ~350 Pa (quando velocidade do fluido na tubulação é maior que 15 m s^{-1} ou quando a superfície está submetida a condições turbulentas.)	Taxa de corrosão normalmente por LPR ou outro método eletroquímico.	Pode gerar condições de teste altamente agressivas de forma bem definida.	Complexidade de design e necessidade de operação por especialista. Não é comumente utilizado.
Gaiola de rotação (Rotating cage)	Cupons instalados verticalmente de modo a formar uma configuração de gaiola rotatória que é exposta a fluido condicionado com inibidor em vaso selado.	Tensão de cisalhamento gerada de difícil determinação, mas há simulação de condições erosivas pelo impacto de gotículas.	Taxa de corrosão por medida de perda de massa.	Facilidade de projeto e de montagem. Capaz de gerar condições de teste agressivas.	Sem determinação das condições na superfície, o que pode afetar a reprodutibilidade.

Fonte: Adaptado de Kermani & Harrop [34].

Como descrito na Tabela 2, após simulação do processo corrosivo, há a necessidade de se determinar a taxa de corrosão, o que pode ocorrer por dois métodos, principalmente. O primeiro deles é o ensaio gravimétrico, que consiste na avaliação da perda de massa de um determinado metal durante um período de exposição ao meio corrosivo. Após esse período, a diferença de massa entre o corpo metálico antes e após a imersão pode ser usada para calcular a taxa de corrosão (TC) de acordo com a Equação 4, conforme descrito pela norma técnica G31-72 [35].

$$TC \left(\frac{mm}{ano} \right) = \frac{\Delta m (g) \times K}{\rho \left(\frac{g}{cm^3} \right) \times A (cm^2) \times t (h)} \quad (4)$$

Onde:

TC é a taxa de corrosão, em mm/ano;

Δm é a diferença de massa do corpo metálico antes e após a imersão, em gramas;

K é uma constante de conversão, que equivale a 87.600;

ρ é a densidade do metal, em g/cm³;

A é a área superficial do corpo metálico, em cm²;

t é o tempo de imersão no meio corrosivo, em h;

Entretanto, antes da aferição da massa do corpo metálico após o processo corrosivo, se faz necessária a remoção de produtos de corrosão depositados sobre ele, o que pode ser realizado por processos mecânicos e/ou decapagem química. A partir dos valores da taxa de corrosão no meio corrosivo tanto na presença quanto na ausência do inibidor, a eficiência do inibidor (EI) pode ser calculada de acordo com a Equação 5.

$$EI(\%) = \left[1 - \left(\frac{TC_{com\ inibidor}}{TC_{sem\ inibidor}} \right) \right] \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

EI é eficiência do inibidor, em %;

$TC_{com\ inibidor}$ é o valor da taxa de corrosão na presença do inibidor, em mm/ano;

$TC_{sem\ inibidor}$ é o valor da taxa de corrosão na ausência do inibidor, em mm/ano;

Além do ensaio gravimétrico, a Tabela 2 menciona métodos eletroquímicos de verificação da taxa de corrosão, em especial, a resistência a polarização linear (LPR). De acordo com Ropital [36], a LPR consiste na aplicação ao metal em questão de variações de voltagens muito pequenas (tipicamente menores do que 30 mV) acima e abaixo de seu potencial de corrosão. Dentro dessa região estreita de variação de voltagem nas proximidades do potencial de corrosão, a resposta de corrente obtida é linear. A resistência de polarização (R_p), que é definida como o coeficiente angular da curva corrente/potencial, é, portanto, constante, sendo que o valor de R_p é inversamente proporcional à taxa de corrosão instantânea. A taxa de corrosão (TC) pode ser estimada a partir da R_p como mostrado em detalhe nas normas técnicas G59-97 [37] e G102-89 [38] e o cálculo da eficiência do inibidor pode ser feito, mais uma vez, através da Equação 5.

3. Metodologia

3.1. Levantamento de dados da literatura – *Web of Science*

Para a revisão dos dados disponíveis na literatura sobre inibidores de corrosão verdes à base de plantas, foi utilizada a ferramenta de pesquisa avançada da base de dados *Web of Science*. Os códigos de pesquisa foram elaborados por tentativa e erro, e sua criação está ilustrada na Figura 5 e discutido em seguida.

# 5	707	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("green" OR "natural" OR "eco-friendly") AND ab=extract Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 4	1.802	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("green" OR "natural" OR "eco-friendly") Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 3	1.283	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts="green" Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 2	8.217	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 1	12.781	ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos

Figura 5. Processo de criação do código de pesquisa de publicações disponíveis na *Web of Science*

Inicialmente, a fim de se obter o retorno das publicações sobre inibidores de corrosão, utilizou-se o código de pesquisa no campo do assunto {ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor")}, como ilustrado na linha #1 da Figura 5. Além disso, de modo a avaliar um panorama mais atualizado, a pesquisa foi direcionada para as publicações feitas na última década (2011 - 2020) e, portanto, inseriu-se na estrutura o código de pesquisa no campo do ano de publicação {py=2011-2020} (linha #2).

Para estreitar a pesquisa em torno dos inibidores verdes, inseriu-se um código no campo do assunto {ts=green} (linha #3). Observou-se, entretanto, que um número significativo de publicações foi excluído desse retorno pois utilizavam termos sinônimos para se referirem aos inibidores verdes, como inibidores naturais ou *eco-friendly*. Portanto, este código foi atualizado para {ts=("natural" OR "green" OR "eco-friendly")} (linha #4).

O código de pesquisa da linha #4 (com estrutura {py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("natural" OR "green" OR "eco-friendly")}) retorna um total de publicações que, como descrito no item 2.5, podem englobar diversos tipos de inibidores verdes, como inibidores inorgânicos, de origem

animal, que trabalham com nanotecnologia, entre outros. Como forma de restringir o número de trabalhos aos focados em inibidores verdes a base de plantas, foi necessário pensar em palavras-chave que trouxessem resultados referentes a essas publicações.

Códigos envolvendo termos como “plant” ou “plant-based” restringiam muito o número de resultados, possivelmente pelo fato de muitos autores mencionarem apenas o nome, científico ou usual, da planta empregada, e não o termo ‘planta’ propriamente dito. Optou-se então por incluir o termo “extract” para garantir a restrição a artigos que tratassem da obtenção de inibidores via processo de extração de algum insumo. Nesse contexto, inseriu-se tal comando no código de pesquisa associado aos resumos das publicações {ab=“extract”}, de modo a permitir a obtenção da informação do tipo de extração realizada no próprio resumo (linha #5).

Por fim, definiram-se códigos para refinar a pesquisa com foco nos meios corrosivos ácidos ou salino específicos em que a inibição foi avaliada. Tais códigos de pesquisa, aplicados ao campo do resumo, estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Códigos de pesquisa referentes aos meios corrosivos específicos.

Meio corrosivo	Código de pesquisa
HCl	ab=("hydrochloric" OR "chloric" OR "HCl")
H ₂ SO ₄	ab=("sulphuric" OR "sulfuric" OR "H2SO4")
HNO ₃	ab=("nitric" OR "HNO3")
NaCl	ab=("saline" OR "brine" OR "NaCl" OR "seawater")

Com isso, os códigos de pesquisa consolidados para cada meio corrosivo foram:

- HCl → {py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("natural" OR "green" OR "eco-friendly") AND ab=extract AND ab=("hydrochloric" OR "chloric" OR "HCl")}

- $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \{\text{py}=2011-2020 \text{ AND } \text{ts}=(\text{"corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor"}) \text{ AND } \text{ts}=(\text{"natural" OR "green" OR "eco-friendly"}) \text{ AND } \text{ab}=\text{extract} \text{ AND } \text{ab}=(\text{"sulphuric" OR "sulfuric" OR "H}_2\text{SO}_4\text{"})\}$

- $\text{HNO}_3 \rightarrow \{\text{py}=2011-2020 \text{ AND } \text{ts}=(\text{"corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor"}) \text{ AND } \text{ts}=(\text{"natural" OR "green" OR "eco-friendly"}) \text{ AND } \text{ab}=\text{extract} \text{ AND } \text{ab}=(\text{"nitric" OR "HNO}_3\text{"})\}$

- $\text{NaCl} \rightarrow \{\text{py}=2011-2020 \text{ AND } \text{ts}=(\text{"corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor"}) \text{ AND } \text{ts}=(\text{"natural" OR "green" OR "eco-friendly"}) \text{ AND } \text{ab}=\text{extract} \text{ AND } \text{ab}=(\text{"saline" OR "brine" OR "NaCl" OR "seawater"})\}$

As publicações que retornaram a partir destes códigos foram avaliadas quanto a possíveis interseções, ou seja, quantas publicações retornaram igualmente em mais de um destes códigos de pesquisa. Além disso, foi avaliado um perfil geográfico de tais publicações de maneira a verificar em quais regiões do mundo este tipo de tecnologia é mais estudado.

3.2. Avaliação e seleção das publicações disponíveis

As publicações retornadas por esses códigos foram submetidas a avaliação de seus resumos, caso a caso, para obtenção de informações como o meio corrosivo avaliado, a sua concentração, o metal-base em que a inibição de corrosão foi testada, o nome da planta utilizada como insumo para obtenção do inibidor, a parte dessa planta, o tipo de solvente usado na extração, a concentração de extrato utilizada no processo de inibição, o mecanismo de ação do inibidor e a máxima eficiência de inibição obtida. Nos casos em que o resumo não dispunha de todas essas informações, o corpo do artigo foi analisado.

Foram excluídas da listagem de publicações a serem avaliadas aquelas de onde não fosse possível obter um número significativo dessas informações (as únicas faltas

toleradas foram o mecanismo de ação do inibidor, a concentração do extrato e o solvente utilizado na extração). Além disso, algumas dessas publicações não tratavam exatamente de inibidores verdes a base de plantas e essas também foram excluídas da listagem na etapa de avaliação caso a caso. Ainda, foram removidos da listagem os casos raros de publicações cujo acesso ao respectivo resumo não foi permitido.

Como demonstrado na Tabela 2, a eficiência de inibição pode ser avaliada através de diferentes ensaios, como perda de massa, impedância, polarização, etc., ainda que a maior parte das publicações tenha optado por ensaios de perda de massa. Nos casos em que uma mesma publicação se valeu de mais de um desses ensaios, apresentando resultados de eficiência variados para um mesmo conjunto de fatores, adotou-se na listagem a máxima eficiência apresentada, independentemente do tipo de ensaio realizado.

As informações obtidas a partir das publicações que não foram excluídas durante o processo de avaliação foram utilizadas para a construção de um repositório que servirá de base para as análises subsequentes.

3.3. Análise de tendências das publicações

De posse da listagem consolidada das publicações disponíveis na literatura sobre inibidores verdes a base de plantas, foram traçados gráficos de tendência das pesquisas nessa área, os quais dividem o número de publicações ou de condições estudadas em relação aos seguintes parâmetros:

- ano de publicação;
- metal/liga metálica onde a corrosão ocorre;
- partes da planta usadas como insumo;
- solvente utilizado para a extração;
- mecanismo de inibição;
- eficiência de inibição encontrada.

Por fim, foram avaliadas as plantas mais recorrentes nestas publicações em relação às particularidades de suas diferentes condições de estudo e o quanto essas influenciaram a eficiência de inibição de corrosão. Com as informações obtidas por todas essas tendências, foi possível avaliar de forma criteriosa o estado da arte do uso desta tecnologia, de modo a evidenciar possíveis lacunas (*gaps*) tecnológicas e possibilidades de melhoria e desenvolvimento de estudos futuros.

4. Resultados e Discussão

4.1. Dados disponíveis na Literatura – *Web of Science*

As pesquisas realizadas na ferramenta de pesquisa avançada do *Web of Science* utilizando os códigos estabelecidos no item 3.1 para cada um dos 4 meios corrosivos (HCl, H₂SO₄, HNO₃ e NaCl) retornaram números de publicações bastante distintos, como pode ser observado na Figura 6.

99	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("natural" OR "green" OR "eco-friendly") AND ab=extract AND ab=("saline" OR "brine" OR "NaCl" OR "seawater") Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
9	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("natural" OR "green" OR "eco-friendly") AND ab=extract AND ab=("nitric" OR "HNO ₃ ") Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
116	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("natural" OR "green" OR "eco-friendly") AND ab=extract AND ab=("sulphuric" OR "sulfuric" OR "H ₂ SO ₄ ") Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
343	py=2011-2020 AND ts=("corrosion inhibition" OR "corrosion inhibitor") AND ts=("natural" OR "green" OR "eco-friendly") AND ab=extract AND ab=("hydrochloric" OR "chloric" OR "HCl") Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos

Figura 6. Número de publicações retornadas pelo *Web of Science* para cada um dos 4 meios corrosivos avaliados (HCl, H₂SO₄, HNO₃ e NaCl).

Nota-se que o ácido clorídrico se destaca como principal meio corrosivo avaliado na aplicação dos inibidores verdes de corrosão à base de plantas, sendo responsável por mais da metade das publicações encontradas. Nota-se, ainda, que o número de resultados relacionados ao meio de HNO₃ é muito inferior aos outros 3 meios. Devido ao baixo número de resultados relacionados ao ácido nítrico, este trabalho versou apenas sobre os demais 3 meios – HCl, H₂SO₄ e NaCl.

4.1.1. Interseções dos meios corrosivos

As publicações comumente presentes em mais de um destes retornos foram selecionadas e tais interseções foram quantificadas, como ilustrado na Figura 7.

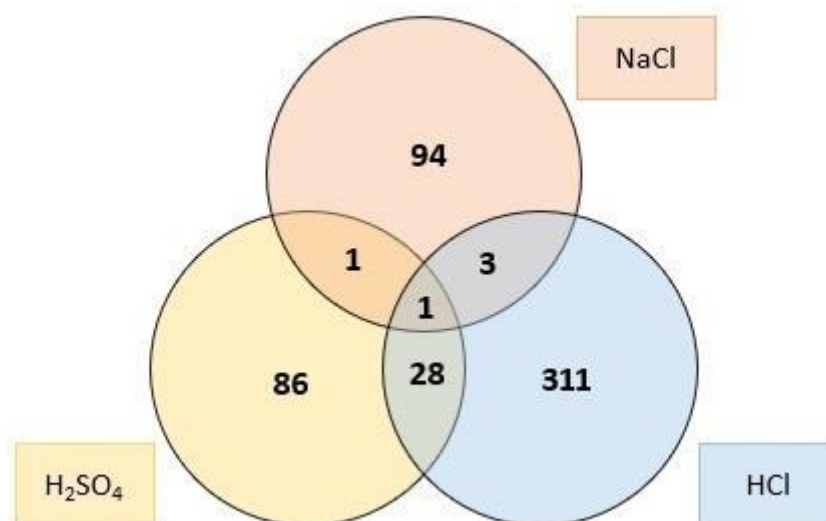


Figura 7. Distribuição das publicações retornadas pelo *Web of Science* de acordo com os respectivos meios corrosivos avaliados.

Apenas uma publicação retornou em todas as pesquisas para os três meios corrosivos em questão. Entretanto, ao analisar o artigo, observou-se que esse cita todos os meios apenas no resumo, não apresentando ensaios ou resultados referentes aos meios ácidos. Portanto, não há na literatura analisada por meio dos métodos de pesquisa aplicado neste trabalho nenhuma publicação que verse sobre inibição de corrosão via inibidores verdes à base de plantas nestes três meios corrosivos simultaneamente.

Nas análises das interseções para cada dois meios corrosivos, foi observado que para ambos os casos de interseção do meio salino com cada um dos meios ácidos, há números reduzidos de publicações, enquanto a interseção dos dois meios ácidos apresenta um número significativo de publicações. Isso demonstra um pequeno interesse dos pesquisadores em avaliar extratos de planta que atuem de forma eficaz na atenuação da corrosão tanto em meios corrosivos salinos quanto em meios ácidos. Entretanto, tal propriedade (adaptabilidade e eficiência em diferentes meios corrosivos) poderia ser um fator relevante na escolha de um inibidor verde eficaz.

4.1.2. Distribuição geográfica das publicações

A distribuição geográfica das publicações encontradas foi avaliada de modo a traçar um panorama mundial das pesquisas envolvendo esses inibidores. A participação das diferentes regiões do planeta nestas pesquisas é apresentada na Figura 8.

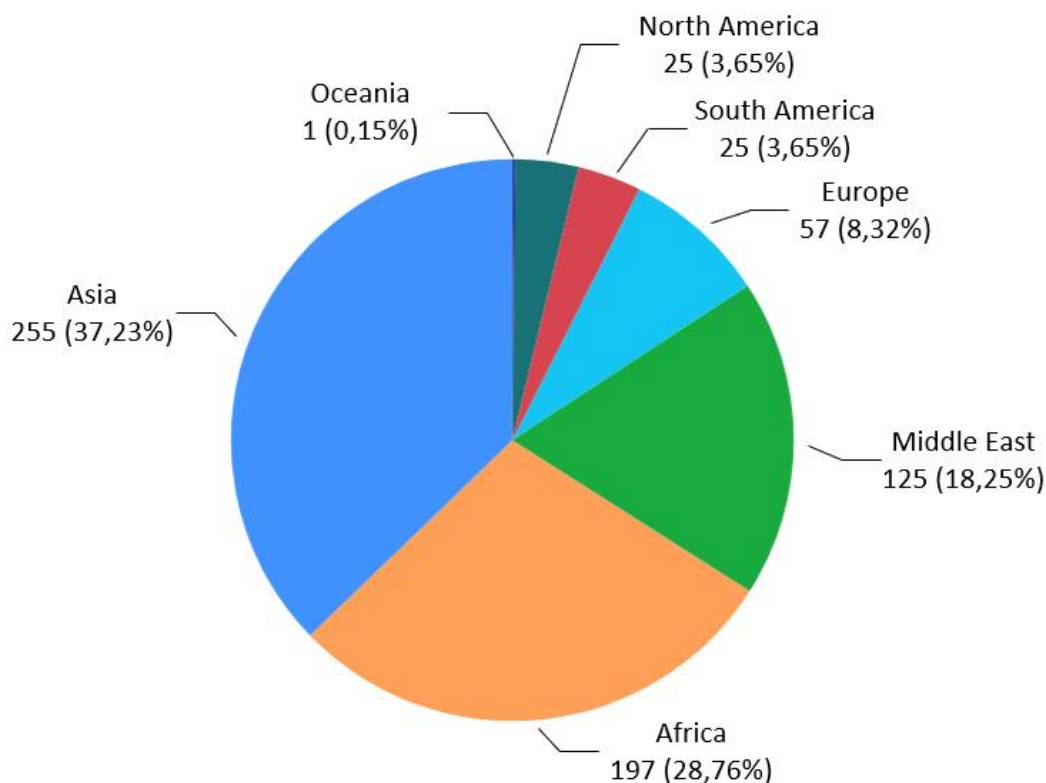


Figura 8. Distribuição das publicações encontradas pelas pesquisas realizadas no *Web of Science* pela região geográfica dos respectivos centros de pesquisa.

Os resultados expressos pelo gráfico da Figura 8 permitem algumas conclusões sobre a distribuição geográfica das pesquisas envolvendo a inibição da corrosão por extratos de plantas. Primeiramente, é notável que a Ásia, a África e o Oriente Médio concentram as pesquisas nessa área, sendo responsáveis, juntos, por mais de 84% das publicações encontradas, o que não vai de encontro ao que é normalmente observado para a maior parte das pesquisas científicas, que se concentram na Europa e América do Norte. Isso indica que esse tipo de estudo ou tem maior adesão em países de menor nível de desenvolvimento tecnológico, provavelmente devido ao menor acesso a técnicas avançadas de combate à corrosão e maior disponibilidade de produtos agrícolas e cobertura vegetal natural, ou é mais comum, nas grandes potências, que esse tipo de

estudo se encontre mais concentrado no domínio das patentes e não no domínio das publicações.

Essa descentralização em relação aos grandes centros de pesquisa também se mostra ao avaliarmos as publicações da Ásia, uma vez que, dentro do continente, um dos maiores publicadores do mundo de artigos científicos no geral, a China, com suas 54 publicações na área de inibidores verdes a base de planta, fica atrás da Índia, com 115 publicações.

4.2. Repositório de publicações disponíveis na literatura

De posse dos resultados obtidos através dos códigos de pesquisa aplicados no *Web of Science*, após análise e seleção criteriosas de todas as publicações a que se teve acesso, foi construído um repositório de informações-chave extraídas das mesmas que serviu de base para a construção das análises subsequentes. A lista consolidada de publicações, junto com suas principais informações e as respectivas referências, é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Repositório de informações das publicações disponíveis na literatura sobre inibidores verdes a base de planta entre os anos de 2011 e 2020 para os meios corrosivos compostos por HCl, H₂SO₄ ou NaCl.

Year	Corrosive medium	Medium concentration	Metal	Plant name	Plant part	Extraction solvent	Extract concentration	Inhibition type	IE*	Reference
2020	HCl	2,0M	Aluminum	Tussilago Farfara	Leaf	Methanol	300ppm	Mixed	94,20%	[39]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rosmarinus Officinalis	Leaf	Methanol	400ppm	Mixed	95,20%	[40]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Alicante Bouschet	Waste	Mix	4g/L	Mixed	83,81%	[41]
2020	HCl	0,6M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Leaf	Ethanol	0,4% (v/v)	Mixed	94,96%	[42]
2020	HCl	0,6M	Stainless Steel	Phoenix Dactylifera	Leaf	Ethanol	0,4% (v/v)	Mixed	88,03%	[42]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pueraria Lobata	Leaf	Water	0,5g/L	Mixed	94,37%	[43]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Artemisia Herba Alba	Aerial Parts	Water	0,4g/L	Mixed	92,00%	[44]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Calendula Officinalis	Flower	Ethanol	500ppm	Mixed	93,50%	[45]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Prosopis Farcta	Aerial Parts	Ethanol	12g/L	Mixed	94,00%	[46]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Seed	HCl	1400ppm	Mixed	97,00%	[47]
2020	HCl	0,5M	Stainless Steel	Allium Sativum	Fruit	Water	8mL/L	Mixed	88,60%	[48]
2020	HCl	0,1M	Steel Alloy	Houttuynia Cordata	Leaf	Ethanol	1500ppm	Mixed	98,30%	[49]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Aaronsohnia Pubescens	Aerial Parts	Water	1,5g/L	Mixed	83,22%	[50]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Nerium Oleander	Leaf	Ethanol	250ppm	Mixed	83,10%	[51]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Purple Knight	Leaf	Water	100ppm	Mixed	96,63%	[52]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Portulaca Grandiflora	Leaf	Ethanol	20mL/L	Mixed	95,00%	[53]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lavandula Mairei	Aerial Parts	Ethanol	0,4g/L	Mixed	92,00%	[54]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Phaseolus Vulgaris	Seed	HCl	0,4g/L	Anodic	83,20%	[55]
2020	HCl	0,5M	Other	Phaseolus Vulgaris	Seed	HCl	0,05g/L	Cathodic	57,70%	[55]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Garcinia Indica	Waste	Water	4% (v/v)	Mixed	93,94%	[56]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Hardwickia Binata	Leaf	HCl	0,5% (v/v)	Mixed	98,00%	[57]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Citrus Reticulata	Waste	Water	1g/L	Mixed	89,70%	[58]
2020	HCl	1,0M	Stainless Steel	Cistus Ladanifer	Aerial Parts	Methanol	1g/L	Mixed	83,70%	[59]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Azadirachta Indica	Leaf	Water	6mL/100mL	-	52,04%	[60]

2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Urginea Maritima	Fruit	Methanol	-	98,95%	[61]	
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Apricot Almond	Seed	Unspecified	0,5g/L	Mixed	83,49%	[62]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cola Acuminata	Seed	Ethanol	700ppm	Mixed	86,00%	[63]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ziziphora	Leaf	Water	800ppm	Mixed	92,00%	[64]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Khalt	Fruit	Other	1% (v/v)	Mixed	79,30%	[65]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lassiane	Fruit	Other	0,01% (v/v)	Mixed	86,90%	[65]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tadmamt	Fruit	Other	1% (v/v)	Mixed	81,60%	[65]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Aaronsohnia Pubescens	Aerial Parts	Unspecified	3g/L	Mixed	89,88%	[66]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Red Onion	Waste	Water	1000ppm	Mixed	76,80%	[67]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ricinus Communis	Seed	Water	800mg/L	Mixed	97,80%	[68]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tephrosia Purpurea	Leaf	Methanol	300ppm	Mixed	95,40%	[69]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Landolphia Heudelotii	Leaf	Unspecified	2500mg/L	Mixed	80,00%	[70]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Citrus Reticulata	Waste	Water	1g/L	Mixed	89,70%	[71]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Basella Rubra	Fruit	HCl	1g/L	Mixed	94,00%	[72]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Santolina Pectinata	Aerial Parts	Water	3g/L	Mixed	94,97%	[73]
2020	HCl	0,1M	Steel Alloy	Pomelo	Waste	Ethanol	8000ppm	Mixed	67,76%	[74]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Dioscorea Septemloba	Wood	Ethanol	2g/L	Mixed	89,20%	[75]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Heterophragma Adenophyllum	Leaf	Ethanol	600ppm	Mixed	98,35%	[76]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Macaranga Peltata	Leaf	Water	1000ppm	Mixed	93,90%	[77]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Chicorium Intybus	Aerial Parts	Methanol	300ppm	Mixed	88,60%	[78]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pterocarpus Santalinoides	Leaf	Ethanol	0,7g/L	Mixed	85,25%	[79]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pterocarpus Santalinoides	Leaf	Methanol	0,7g/L	Mixed	72,38%	[79]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pterocarpus Santalinoides	Leaf	Water	0,7g/L	Mixed	74,51%	[79]
2020	HCl	1,5M	Steel Alloy	Irvingia Wombolu	Leaf	Ethanol	1g/L	-	97,87%	[80]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mimusaps Elangi	Leaf	Water	20ppm	Mixed	98,50%	[81]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mimusaps Elangi	Wood	Water	20ppm	Mixed	97,34%	[81]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mimusaps Elangi	Fruit	Water	20ppm	Mixed	97,17%	[81]

2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mimusaps Elangi	Seed	Water	20ppm	Mixed	98,32%	[81]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cryptocarya Nigra	Wood	Hexane	500ppm	Mixed	52,50%	[82]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cryptocarya Nigra	Wood	Dichloromethane	500ppm	Mixed	91,05%	[82]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cryptocarya Nigra	Wood	Methanol	500ppm	Mixed	87,58%	[82]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Convolvulus Arvensis	Leaf	Water	0,12mg/mL	Mixed	91,26%	[83]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Hylocereus polyrhizus	Fruit	Unspecified	3000ppm	Mixed	92,20%	[84]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rosa Damascena	Flower	Water	800ppm	Mixed	90,00%	[85]
2020	HCl	1,0M	Other	Gypsophila Simonii	Root	Water	500ppm	-	91,70%	[86]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Gleichenia Linearis	Leaf	Methanol	4g/L	Mixed	84,54%	[87]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Moringa Oleifera	Aerial Parts	Water	600ppm	Mixed	91,70%	[88]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tunbergia Fragrans	Aerial Parts	Ethanol	500ppm	Mixed	81,10%	[89]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Citrofortunella Microcarpa	Waste	HCl	100% (v/v)	-	90,33%	[90]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Wood	Methanol	1g/L	Mixed	88,00%	[91]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Chamaerops Humilis	Fruit	Ethanol	1g/L	Mixed	88,00%	[92]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Chamaerops Humilis	Fruit	Hexane	1g/L	Mixed	80,00%	[92]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cupressus Arizonica	Leaf	Water	500ppm	Mixed	97,00%	[93]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Mondia Whittei	Root	Ethanol	1g/L	Mixed	89,47%	[94]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Arthrospira Platensis	Leaf	Ethanol	250ppm	-	66,58%	[95]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cedrus Atlantica	Wood	Unspecified	0,6g/L	Mixed	87,00%	[96]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Seed	Mix	2000ppm	Mixed	98,50%	[97]
2020	HCl	0,5M	Steel Alloy	Luffa Cylindrica	Leaf	Ethanol	1g/L	-	76,20%	[98]
2020	HCl	1,0M	Steel Alloy	Coconut	Leaf	Ethanol	400mg/L	Mixed	94,10%	[99]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Commelina Benghalensis	Leaf	Water	900ppm	Mixed	93,40%	[100]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Matricaria Aurea	Flower	Unspecified	0,464mM	Mixed	94,00%	[101]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Sargassum Muticum	Whole Plant	Methanol	1g/L	Mixed	97,00%	[102]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ficus Hippida	Leaf	Ethanol	250ppm	Mixed	90,29%	[103]
2019	HCl	0,1M	Aluminum	Nicotiana Tabacum	Leaf	Ethanol	1200mg/L	Mixed	80,00%	[104]

2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Valerian	Aerial Parts	Water	300ppm	Mixed	84,60%	[105]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Waste	HCl	1% (v/v)	-	97,00%	[106]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pteridium Aquilinum	Leaf	Water	500ppm	Mixed	96,90%	[107]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Hammada Scoparia	Aerial Parts	Ethanol	0,6g/L	Mixed	93,00%	[108]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Thapsia Garganica	Leaf	Methanol	40ppm	Mixed	96,00%	[109]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Thapsia Garganica	Leaf	Ethyl Acetate	40ppm	Mixed	95,00%	[109]
2019	HCl	1,0M	Copper	Alchemilla Vulgaris	Leaf	Water	7g/L	Mixed	96,00%	[110]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mustard	Seed	Water	200mg/L	Mixed	94,00%	[111]
2019	HCl	0,5M	Steel Alloy	Robinia Pseudoacacia	Leaf	Ethyl Acetate	2g/L	Mixed	93,00%	[112]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tamarindus Indica	Fruit	Water	600ppm	Mixed	88,00%	[113]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Sweet Melon	Waste	HCl	0,5g/L	-	85,52%	[114]
2019	HCl	0,5M	Steel Alloy	Tamarindus Indica	Waste	Methanol	1000ppm	-	87,77%	[115]
2019	HCl	0,5M	Steel Alloy	Tamarindus Indica	Waste	Acetone	1000ppm	-	86,34%	[115]
2019	HCl	0,5M	Steel Alloy	Piper Sarmentosum	Leaf	Ethanol	1000ppm	Mixed	92,18%	[116]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Eriobotrya Japonica	Leaf	Water	800ppm	Mixed	92,60%	[117]
2019	HCl	0,5M	Steel Alloy	Pachysandra Terminalis	Leaf	Methanol	1000ppm	Mixed	95,79%	[118]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ruta Chalepensis	Leaf	Other	0,5g/L	Mixed	88,17%	[119]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Algae Prasiola Crispa	Leaf	Unspecified	0,8g/L	Mixed	95,90%	[120]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tamarindus Indica	Fruit	Water	800ppm	Mixed	91,50%	[121]
2019	HCl	0,5M	Stainless Steel	Shazab	Leaf	Water	12,5% (v/v)	Mixed	86,20%	[122]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Green Tea	Leaf	Unspecified	0,01M	Mixed	98,30%	[123]
2019	HCl	1,0M	Aluminum	Artemisia Herba Alba	Aerial Parts	Water	3g/L	Mixed	92,00%	[124]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ficus Tikoua	Leaf	Water	200mg/L	Mixed	95,80%	[125]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Camellia Sinensis	Leaf	Water	800ppm	Mixed	90,53%	[126]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Echium Italicum	Aerial Parts	Other	500mg/L	Mixed	74,91%	[127]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ircinia Strobilina	Whole Plant	Mix	2g/L	Mixed	82,30%	[128]
2019	HCl	0,1M	Steel Alloy	Quebracho	Wood	Water	1,5g/L	Cathodic	79,00%	[129]

2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lantana Camara	Wood	Methanol	1000ppm	Mixed	97,33%	[130]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Clove	Seed	Water	800ppm	Mixed	93,00%	[131]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Paullinia Cupana	Waste	HCl	20g/L	-	76,80%	[132]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Primula Vulgaris	Flower	Water	1000ppm	-	95,50%	[133]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lepidagathis Keralensis	Leaf	Methanol	200ppm	Mixed	92,73%	[134]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lepidagathis Keralensis	Wood	Methanol	200ppm	Mixed	91,57%	[134]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Waste	HCl	12% (v/v)	-	97,01%	[135]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Senecio Anteuphorbium	Aerial Parts	Ethanol	30mg/L	Mixed	91,20%	[136]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Peganum Harmala	Seed	Water	800ppm	Mixed	94,00%	[137]
2019	HCl	1,2M	Steel Alloy	Pigeon Pea	Leaf	Ethanol	0,9g/L	Mixed	87,13%	[138]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lawsonia Inermis	Leaf	Water	300ppm	Mixed	83,10%	[139]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Hammada Scoparia	Aerial Parts	HCl	1000mg/L	Mixed	90,42%	[140]
2019	HCl	0,1M	Steel Alloy	Hibiscus Sabdariffa	Leaf	Ethanol	1500ppm	Mixed	98,00%	[141]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Citrullus Lanatus	Fruit	Water	800ppm	Mixed	91,00%	[142]
2019	HCl	0,5M	Steel Alloy	Arecanut	Waste	HCl	18g/L	Mixed	81,80%	[143]
2019	HCl	0,5M	Copper	Arecanut	Waste	HCl	18g/L	Mixed	80,00%	[143]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Borage	Flower	Water	800ppm	Mixed	93,00%	[144]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Solanum Trilobatum	Leaf	Methanol	250ppm	Mixed	95,20%	[145]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cissus Quadrangularis	Wood	HCl	1100ppm	Mixed	72,55%	[146]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mentha Pulegium	Leaf	Water	1g/L	Mixed	92,21%	[147]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Solanum Lasiocarpum	Fruit	Water	1g/L	Mixed	93,31%	[148]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Xylopia Cayennensis	Wood	Unspecified	200mg/L	Mixed	94,00%	[149]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Linseed	Seed	Hexane	200ppm	Mixed	88,00%	[150]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lemon Balm	Aerial Parts	Water	800ppm	Mixed	94,60%	[151]
2019	HCl	0,5M	Aluminum	Arecanut	Waste	HCl	18g/L	Mixed	76,00%	[152]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Atalantia Monophylla	Leaf	Water	25mL/100mL	Mixed	98,19%	[153]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	Coffea Arabica	Waste	Water	30% (v/v)	Mixed	94,17%	[154]

2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Tithonia Diversifolia</i>	Flower	HCl	0,7% (v/v)	Mixed	92,15%	[155]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Ipomea Staphylina</i>	Leaf	HCl	0,8% (v/v)	Mixed	87,76%	[156]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Sapium Ellipticum</i>	Leaf	Ethanol	1,5g/L	Mixed	89,00%	[157]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Spiraea Cantoniensis</i>	Leaf	Methanol	500ppm	-	75,23%	[158]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Thymus Satureioides</i>	Flower	Unspecified	1,5g/L	Mixed	90,00%	[159]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Camellia Sinensis</i>	Aerial Parts	Mix	300ppm	Mixed	90,20%	[160]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Origanum Vulgare</i>	Leaf	Water	1200mg/L	-	93,38%	[161]
2019	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Mangifera Indica</i>	Leaf	Ethanol	1000ppm	Mixed	32,00%	[162]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Thymus Algeriensis</i>	Aerial Parts	Methanol	2g/L	Mixed	94,50%	[163]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Thymus Algeriensis</i>	Aerial Parts	Ethyl Acetate	2g/L	Mixed	87,00%	[163]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Urtica Dioica</i>	Leaf	Water	800ppm	Mixed	62,80%	[164]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Grewa Venusta</i>	Wood	Ethanol	8% (v/v)	Mixed	97,60%	[165]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Coffee	Waste	Water	1000mg/L	Mixed	93,90%	[166]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Pimpinella Anisum</i>	Seed	Water	1,2g/L	Mixed	95,28%	[167]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Pimpinella Anisum</i>	Seed	Ethanol	1,2g/L	Mixed	94,72%	[167]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Pimpinella Anisum</i>	Seed	Hexane	1,2g/L	Mixed	95,55%	[167]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Mangifera Indica</i>	Waste	Ethanol	1g/L	Mixed	91,14%	[168]
2018	HCl	1,0M	Stainless Steel	<i>Phoenix Dactylifera</i>	Waste	HCl	1,5g/L	Mixed	91,10%	[169]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Elaeis Guineensis</i>	Leaf	Ethanol	10% (v/v)	-	73,81%	[170]
2018	HCl	1,0M	Copper	<i>Zizyphus Lotuse</i>	Fruit	HCl	1g/L	Cathodic	93,00%	[171]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Glycine Max</i>	Leaf	HCl	2g/L	Mixed	73,60%	[172]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Cuscuta Reflexa</i>	Leaf	HCl	2g/L	Mixed	81,92%	[172]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Spirogyra Algae</i>	Leaf	HCl	2g/L	Mixed	94,05%	[172]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Musa Paradisica</i>	Waste	Ethyl Acetate	400mg/L	Mixed	90,00%	[173]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Elaeis Guineensis</i>	Leaf	Ethanol	10% (v/v)	Mixed	94,10%	[174]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Cleome Droserifolia</i>	Aerial Parts	Methanol	300ppm	Mixed	91,10%	[175]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	<i>Olea Europaea</i>	Flower	Methanol	0,02mg/L	Mixed	95,90%	[176]

2018	HCl	0,5M	Steel Alloy	Lychee	Waste	Ethanol	600mg/L	Mixed	97,95%	[177]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Anthocleista Djalensis	Leaf	HCl	0,4g/L	Mixed	80,61%	[178]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Viburnum Sargentii Koehne	Fruit	Unspecified	2% (v/v)	Mixed	93,80%	[179]
2018	HCl	2,0M	Stainless Steel	Tectona Grandis	Leaf	Ethanol	1000ppm	Mixed	65,00%	[180]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Wood	Unspecified	3g/L	-	96,31%	[181]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Punica Granatum	Wood	Unspecified	3g/L	-	66,79%	[181]
2018	HCl	0,1M	Aluminum	Phyllanthus Amarus	Leaf	Ethanol	0,5g/L	Mixed	93,93%	[182]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ginkgo Biloba	Leaf	Ethanol	200mg/L	Mixed	89,90%	[183]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Jasmine	Leaf	HCl	1g/L	Mixed	94,10%	[184]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Juniperus Procera	Leaf	HCl	2,5g/L	Mixed	88,80%	[185]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Raphanus Sativus	Seed	Unspecified	600mg/L	Mixed	92,90%	[186]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pisum Sativum	Waste	Water	400mg/L	Mixed	90,10%	[187]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Sunflower	Waste	Mix	400ppm	Mixed	98,46%	[188]
2018	HCl	3,0M	Steel Alloy	Areca	Seed	Water	4g/L	-	90,70%	[189]
2018	HCl	3,0M	Steel Alloy	Areca	Waste	Water	4g/L	-	93,30%	[189]
2018	HCl	3,0M	Steel Alloy	Areca	Flower	Water	4g/L	-	87,30%	[189]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Coriandrum Sativum	Seed	Unspecified	1000mg/L	Mixed	93,70%	[190]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rollinia Occidentalis	Seed	Methanol	1g/L	Mixed	85,70%	[191]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Turbinaria Ornata	Leaf	Methanol	25g/L	Mixed	94,50%	[192]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pomegranate	Waste	Unspecified	1000mg/L	-	93,00%	[193]
2018	HCl	1,0M	Other	Kaempferia Galanga	Wood	Hexane	0,00145M	-	76,23%	[194]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Olea Europaea	Leaf	Ethanol	0,1g/L	Mixed	94,30%	[195]
2018	HCl	4,4M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Leaf	Ethanol	2000ppm	Mixed	57,94%	[196]
2018	HCl	4,4M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Leaf	Water	2000ppm	Mixed	82,80%	[196]
2018	HCl	4,4M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Seed	Ethanol	2000ppm	Mixed	59,95%	[196]
2018	HCl	4,4M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Seed	Water	2000ppm	Mixed	77,49%	[196]
2018	HCl	0,5M	Aluminum	Areca	Leaf	Acetone	6g/L	Mixed	89,50%	[197]

2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ruta Chalepensis	Leaf	HCl	3g/L	Mixed	91,42%	[198]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Plantain	Fruit	Water	8g/L	Mixed	92,00%	[199]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Eleutherine Americanna	Whole Plant	HCl	1000ppm	Mixed	84,50%	[200]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Allium Sativum	Waste	Unspecified	450mg/L	-	94,65%	[201]
2018	HCl	1,0M	Aluminum	Polygonatum Odatarum	Leaf	Methanol	500ppm	Mixed	94,70%	[202]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ginger	Wood	Water	150g/L	-	91,00%	[203]
2018	HCl	0,1M	Steel Alloy	Black Tea	Leaf	Water	12 drops	-	97,00%	[204]
2018	HCl	1,0M	Steel Alloy	Sesbania Grandiflora	Leaf	Methanol	10000ppm	Anodic	98,01%	[205]
2018	HCl	1,0M	Aluminum	Illicium Verum	Flower	Methanol	1,14g/L	-	95,62%	[206]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Bixa orellana	Seed	Ethanol	5mg/L	-	69,80%	[207]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Artemisia Halodendron	Leaf	Water	800mg/L	Mixed	85,90%	[208]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rhizophora Apiculata	Wood	Ethanol	10% (v/v)	Mixed	67,83%	[209]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rhizophora Apiculata	Leaf	Ethanol	10% (v/v)	Mixed	58,89%	[209]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pulicaria Undulata	Aerial Parts	Unspecified	300ppm	Mixed	84,90%	[210]
2017	HCl	1,0M	Aluminum	Trigonellafoenum Graecum	Seed	Dichloromethane	1400 ppm	Mixed	86,60%	[211]
2017	HCl	1,0M	Aluminum	Trigonellafoenum Graecum	Seed	Ethanol	1400 ppm	Mixed	84,41%	[211]
2017	HCl	1,0M	Aluminum	Trigonellafoenum Graecum	Seed	Other	1400 ppm	Mixed	75,77%	[211]
2017	HCl	2,0M	Aluminum	Murraya Koenigii	Leaf	Water	0,4g/L	Mixed	91,79%	[212]
2017	HCl	0,5M	Steel Alloy	Theobroma Cacao	Wood	Ethanol	1.112 g/L	Cathodic	89,00%	[213]
2017	HCl	0,5M	Steel Alloy	Longan	Waste	Water	600mg/L	Mixed	92,40%	[214]
2017	HCl	1,0M	Aluminum	Salicornia Begolovi	Aerial Parts	Dichloromethane	300ppm	Mixed	96,40%	[215]
2017	HCl	2,0M	Stainless Steel	Tectona Grandis	Leaf	Ethanol	1 g/L	Mixed	71,70%	[216]
2017	HCl	2,0M	Steel Alloy	Opuntia Elatior	Wood	Unspecified	1000 ppm	Mixed	95,20%	[217]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Grewa Venusta	Root	Ethanol	8% (v/v)	Mixed	97,90%	[218]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Griffonia Simplicifolia	Seed	Acetone	1000 ppm	Mixed	98,55%	[219]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Griffonia Simplicifolia	Seed	Acetone	1000 ppm	Mixed	93,26%	[219]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Griffonia Simplicifolia	Seed	Acetone	1000 ppm	Mixed	92,84%	[219]

2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tilia Cordata	Leaf	Water	300mg/L	Mixed	96,00%	[220]
2017	HCl	2,0M	Steel Alloy	Melia Azedarach	Seed	Water	600mg/L	Mixed	94,40%	[221]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mentha Spicata	Aerial Parts	Ethanol	250ppm	Mixed	97,50%	[222]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tobacco Rob	Waste	Water	750mg/L	Mixed	91,50%	[223]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ervatamia Coronaria	Leaf	HCl	50% (w/v)	Mixed	86,84%	[224]
2017	HCl	0,5M	Steel Alloy	Lecaniodiscus Cupaniodes	Leaf	Ethanol	5mL/100mL	-	82,57%	[225]
2017	HCl	0,5M	Aluminum	Azwain	Seed	Water	9mL/100mL	Mixed	90,00%	[226]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cocon Nucifera	Waste	HCl	10% (v/v)	-	94,52%	[227]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Foeniculum Vulgare	Seed	Water	1g/L	Mixed	91,50%	[228]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Myrmecodia Pendans	Wood	Ethanol	500mg/L	-	82,88%	[229]
2017	HCl	1,0M	Aluminum	Acacia Tortilis	Aerial Parts	Water	8% (v/v)	Mixed	89,60%	[230]
2017	HCl	0,5M	Steel Alloy	Allium Sativum	Waste	Ethanol	1,112g/L	Mixed	90,65%	[231]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Grapefruit	Leaf	Methanol	1g/L	Mixed	80,43%	[232]
2017	HCl	1,0M	Steel Alloy	Grapefruit	Waste	Methanol	1g/L	Mixed	82,86%	[232]
2017	HCl	1,0M	Copper	Mate Tea	Leaf	Water	5% (v/v)	-	17,00%	[233]
2017	HCl	1,0M	Other	Mespilus Japonica	Leaf	Methanol	1,2g/L	Mixed	84,46%	[234]
2017	HCl	1,0M	Other	Ricinus Communis	Leaf	Methanol	1,2g/L	Mixed	85,72%	[234]
2017	HCl	1,0M	Other	Vitis Vinifera	Leaf	Methanol	1,0g/L	Mixed	86,19%	[234]
2017	HCl	2,0M	Steel Alloy	Melia Azedarach	Fruit	Water	600ppm	Mixed	76,56%	[235]
2016	HCl	0,1M	Steel Alloy	Diospyros Kaki	Leaf	Ethanol	225ppm	Cathodic	91,00%	[236]
2016	HCl	2,0M	Other	Fenugreek	Seed	Water	150mL/L	Mixed	65,35%	[237]
2016	HCl	1,1M	Steel Alloy	Strychnos Nux-Vomica	Seed	Methanol	2g/L	Mixed	91,10%	[238]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pennisetum Purpureum	Leaf	Acetone	5g/L	Mixed	89,13%	[239]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tinospora Crispa	Whole Plant	Water	1000ppm	Mixed	87,73%	[240]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Aquilaria Malaccensis	Leaf	Methanol	1500ppm	Mixed	94,49%	[241]
2016	HCl	2,0M	Steel Alloy	Jatropha Curcas	Leaf	HCl	0,5g/L	-	95,92%	[242]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Salvadora Persica	Whole Plant	Water	500ppm	Mixed	94,35%	[243]

2016	HCl	0,5M	Aluminum	Arecanut	Seed	Water	4,5g/L	Mixed	95,50%	[244]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Morus Alba Pendula	Leaf	Water	0,4g/L	Mixed	93,00%	[245]
2016	HCl	0,5M	Steel Alloy	Glycine Max	Leaf	Water	2g/L	-	91,07%	[246]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tragia Plukenetii	Leaf	Methanol	500ppm	Mixed	88,00%	[247]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Phyllanthus Amarus	Leaf	Ethanol	4% (v/v)	Mixed	95,29%	[248]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Hunteria Umbellata	Waste	HCl	5% (v/v)	-	98,70%	[249]
2016	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Hunteria Umbellata	Waste	H2SO4	5% (v/v)	-	92,20%	[249]
2016	HCl	0,5M	Steel Alloy	Calotropis Procera	Leaf	Ethanol	0.60% (v/v)	-	75,50%	[250]
2016	HCl	0,5M	Steel Alloy	Calotropis Procera	Oil	Ethanol	0.60% (v/v)	-	79,11%	[250]
2016	HCl	0,5M	Steel Alloy	Calotropis Procera	Fruit	Ethanol	0.60% (v/v)	-	82,24%	[250]
2016	HCl	0,5M	Steel Alloy	Calotropis Gigantea	Leaf	Ethanol	0.60% (v/v)	-	74,37%	[250]
2016	HCl	0,5M	Steel Alloy	Calotropis Gigantea	Oil	Ethanol	0.60% (v/v)	-	80,24%	[250]
2016	HCl	0,5M	Steel Alloy	Calotropis Gigantea	Fruit	Ethanol	0.60% (v/v)	-	80,16%	[250]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Tabernaemontana Divaricata	Leaf	Ethanol	500ppm	Mixed	95,24%	[251]
2016	HCl	1,0M	Aluminum	Thymus Algeriensis	Aerial Parts	HCl	0,75g/L	-	78,70%	[252]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Argemone Mexicana	Root	Water	400mg/L	Mixed	94,00%	[253]
2016	HCl	0,5M	Other	Allium Sativum	Fruit	Ethanol	20% (v/v)	Mixed	59,50%	[254]
2016	HCl	0,1M	Steel Alloy	Andrographis Paniculata	Leaf	Water	1g/L	Anodic	96,30%	[255]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ligustrum Lucidum	Seed	Unspecified	500mg/L	Mixed	88,50%	[256]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Melissa Officinalis	Leaf	Water	8mL/L	Mixed	96,40%	[257]
2016	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pomegranate	Leaf	Water	1g/L	Mixed	94,40%	[258]
2016	HCl	2,0M	Steel Alloy	Mustard	Seed	Hexane	1000mg/L	Mixed	56,44%	[259]
2016	HCl	1,0M	Aluminum	Black Pepper	Seed	Methanol	0,243g/L	Mixed	99,65%	[260]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Agavoideae	Whole Plant	Water	300ppm	Mixed	96,00%	[261]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Retama Monosperma	Seed	Methanol	400mg/L	Mixed	94,40%	[262]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Lactuca Sativa	Leaf	HCl	60% (v/v)	-	76,71%	[263]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Eruca Sativa	Leaf	HCl	60% (v/v)	-	80,83%	[263]

2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Petroselinum Crispum	Leaf	HCl	60% (v/v)	-	81,39%	[263]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Anethum Graveolens	Leaf	HCl	60% (v/v)	-	63,93%	[263]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Olea Europaea	Root	Mix	0,000014mL/L	Mixed	89,24%	[264]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Olea Europaea	Wood	Mix	0,000014mL/L	Mixed	88,84%	[264]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Olea Europaea	Leaf	Mix	0,000014mL/L	Mixed	89,83%	[264]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rothmannia Longiflora	Leaf	Water	1000mg/L	Mixed	90,92%	[265]
2015	HCl	1,0M	Stainless Steel	Capsicum Annuum	Seed	Ethanol	-	-	92,32%	[266]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cherry	Wood	Water	0,5g/mL	-	89,50%	[267]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pelargonium	Oil	Water	4mL/L	Mixed	90,61%	[268]
2015	HCl	0,5M	Steel Alloy	Schinus Terebinthifolius	Aerial Parts	Methanol	900ppm	Mixed	93,30%	[269]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Capsella Bursa Pastoris	Aerial Parts	Water	60mg/L	Mixed	97,00%	[270]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Watermelon	Waste	HCl	1000ppm	Mixed	88,10%	[271]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Feronia Elephantum	Leaf	Ethanol	300ppm	Mixed	85,12%	[272]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Syzygium Cumini	Seed	Water	600ppm	Mixed	94,28%	[273]
2015	HCl	0,5M	Steel Alloy	Strawberry	Fruit	HCl	2g/L	Mixed	76,90%	[274]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Watermelon	Waste	Water	2g/L	Mixed	79,86%	[275]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Watermelon	Seed	Water	2g/L	Mixed	83,67%	[275]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Watermelon	Waste	Water	2g/L	Mixed	72,42%	[275]
2015	HCl	0,1M	Copper	Egyptian Licorice	Leaf	Mix	8% (v/v)	Mixed	89,55%	[276]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Green Tea	Leaf	Water	500ppm	Mixed	81,47%	[277]
2015	HCl	1,0M	Stainless Steel	Juglans Regia	Leaf	Ethyl Acetate	0.14 mg/mL	Mixed	50,20%	[278]
2015	HCl	1,0M	Stainless Steel	Juglans Regia	Leaf	Water	0.14 mg/mL	Mixed	64,50%	[278]
2015	HCl	1,0M	Aluminum	Juglans Regia	Leaf	Ethyl Acetate	0.14 mg/mL	Mixed	77,10%	[278]
2015	HCl	1,0M	Aluminum	Juglans Regia	Leaf	Water	0.14 mg/mL	Mixed	88,80%	[278]
2015	HCl	1,0M	Aluminum	Fennel	Seed	Methanol	0,8g/L	Mixed	92,90%	[279]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Watermelon	Waste	HCl	2g/L	Mixed	83,35%	[280]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Opuntia Elatior	Fruit	Water	75ppm	Mixed	91,00%	[281]

2015	HCl	1,0M	Other	Michelia Alba	Leaf	Unspecified	1,686g/L	Mixed	90,20%	[282]
2015	HCl	1,0M	Stainless Steel	Michelia Alba	Leaf	Unspecified	1,686g/L	Mixed	91,50%	[282]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Michelia Alba	Leaf	Unspecified	1,686g/L	Mixed	90,80%	[282]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Leaf	HCl	2g/L	Mixed	88,08%	[283]
2015	HCl	0,5M	Steel Alloy	Malus Domestica	Fruit	HCl	5g/L	Mixed	90,00%	[284]
2015	HCl	2,0M	Steel Alloy	Gundelia Tournefortii	Leaf	Unspecified	150ppm	Mixed	93,00%	[285]
2015	HCl	2,0M	Copper	Calligonum Comosum	Flower	Methanol	0,8g/L	Mixed	80,06%	[286]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Musa Paradisica	Waste	Mix	300mg/L	Anodic	90,00%	[287]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Waste	Methanol	1% (v/v)	Anodic	99,00%	[288]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Passiflora Foedita	Leaf	Water	130ppm	Mixed	94,61%	[289]
2015	HCl	1,0M	Steel Alloy	Anthemis Pseudocotula	Whole Plant	Mix	0,558mM	Mixed	94,90%	[290]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mango	Waste	Mix	600mg/L	Mixed	96,00%	[291]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Orange	Waste	Mix	600mg/L	Mixed	91,00%	[291]
2014	HCl	1,0M	Other	Eleusine Aegyptiaca	Leaf	Methanol	2400ppm	Mixed	91,30%	[292]
2014	HCl	1,0M	Other	Croton Rottleri	Leaf	Methanol	2400ppm	Mixed	94,50%	[292]
2014	HCl	1,0M	Stainless Steel	Silybum Marianum	Leaf	Mix	1,0g/L	Mixed	95,70%	[293]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Whole Plant	Water	300ppm	Mixed	91,40%	[294]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Kigelia Pinnata	Leaf	Ethanol	125ppm	Mixed	80,10%	[295]
2014	HCl	1,0M	Stainless Steel	Fennel	Seed	Ethanol	150ppm	Mixed	77,20%	[296]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Pistacia Atlantica	Wood	Ethyl Acetate	25ppm	Cathodic	94,08%	[297]
2014	HCl	0,5M	Aluminum	Phoenix Dactylifera	Leaf	Mix	1000ppm	Mixed	89,10%	[298]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Opuntia Elatior	Fruit	Ethanol	50ppm	Mixed	71,96%	[299]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Mentha Rotundifolia	Leaf	HCl	35%	Mixed	92,90%	[300]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Aquilaria Crassna	Leaf	Methanol	300ppm	Mixed	82,28%	[301]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Launaea Nadicaulis	Whole Plant	Methanol	600ppm	Mixed	91,70%	[302]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Melalauca Cajuputi Powell	Wood	Mix	350ppm	-	40,77%	[303]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Curcuma Longa	Root	Water	0,03g/L	Mixed	91,57%	[304]

2014	HCl	0,5M	Steel Alloy	Nettle	Leaf	Water	1,5g/L	Mixed	83,80%	[305]
2014	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rhazya Stricta Decne	Leaf	Water	2g/L	-	87,50%	[306]
2014	HCl	1,2M	Steel Alloy	Hibiscus Sabdariffa	Leaf	HCl	15g/100mL	-	73,00%	[307]
2014	H2SO4	1,2M	Steel Alloy	Hibiscus Sabdariffa	Leaf	H2SO4	15g/100mL	-	87,10%	[307]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ruta Chalepensis	Aerial Parts	Ethanol	3,5g/L	Mixed	87,00%	[308]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Seed	HCl	2,5g/L	Mixed	89,30%	[309]
2013	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Phoenix Dactylifera	Seed	H2SO4	1,5g/L	Mixed	87,30%	[309]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Euphorbia Falcata	Aerial Parts	HCl	3g/L	Mixed	93,20%	[310]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Chlorophytum Borivilianum	Root	Water	500mg/L	Mixed	91,00%	[311]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ochrosia Oppositifolia	Wood	Dichloromethane	25mg/L	Mixed	94,00%	[312]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Ochrosia Oppositifolia	Leaf	Dichloromethane	25mg/L	Mixed	87,00%	[312]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Olea Europaea	Waste	Ethyl Acetate	4g/L	Mixed	92,90%	[313]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Artemisia Halodendron	Leaf	Water	800mg/L	Mixed	85,90%	[314]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Larrea Tridentata	Leaf	Water	1,5g/L	Mixed	87,03%	[315]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Asteriscus Imbricatus	Leaf	Water	0,6g/L	Mixed	96,33%	[316]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Polycarpaea Corymbosa	Leaf	Ethanol	400ppm	Mixed	84,60%	[317]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Desmodium Triflorum	Leaf	Ethanol	400ppm	Mixed	91,90%	[317]
2013	HCl	3,0M	Steel Alloy	Henna	Leaf	Water	0,4g/L	Cathodic	89,92%	[318]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Argania Spinosa	Seed	HCl	3g/L	Mixed	96,80%	[319]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Acalypha Torta	Leaf	Mix	1000ppm	Mixed	89,00%	[320]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Piper Longum	Fruit	Water	600ppm	Mixed	96,30%	[321]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Leaf	HCl	1g/L	Mixed	93,80%	[322]
2013	HCl	1,0M	Steel Alloy	Matricaria Recutita	Flower	Water	7,2g/L	Mixed	93,28%	[323]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Butea Monosperma	Leaf	Unspecified	300ppm	Mixed	96,00%	[324]
2012	HCl	2,0M	Steel Alloy	Thyme	Leaf	Water	1000mg/L	Mixed	75,60%	[325]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Parthenium Hysterophorus	Leaf	Water	1100mg/L	Mixed	79,00%	[326]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Argania Spinosa	Waste	HCl	5g/L	Mixed	97,30%	[327]

2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Juniperus Procera	Whole Plant	HCl	6g/L	Mixed	87,30%	[328]
2012	HCl	1,0M	Stainless Steel	Salvia Officinalis	Leaf	Mix	2,5g/L	Mixed	96,60%	[329]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Piper Guineense	Leaf	HCl	900mg/L	Mixed	88,40%	[330]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Piper Guineense	Leaf	H2SO4	900mg/L	Mixed	92,10%	[330]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Piper Guineense	Leaf	HCl	900mg/L	Mixed	96,10%	[330]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Piper Guineense	Leaf	H2SO4	900mg/L	Mixed	97,70%	[330]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Camellia Sinensis	Leaf	Mix	200ppm	Mixed	90,13%	[331]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Black Pepper	Fruit	Ethanol	0,001mol/L	-	97,50%	[332]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Prickly Pear	Seed	Unspecified	5g/L	Mixed	90,00%	[333]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Argania Spinosa	Leaf	HCl	2,5g/L	Mixed	95,00%	[334]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Seed	Ethanol	600mg/L	Mixed	83,30%	[335]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Punica Granatum	Seed	Ethanol	600mg/L	Mixed	84,80%	[335]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Schinopsis Iorentzii	Whole Plant	Water	2000ppm	Cathodic	66,00%	[336]
2012	HCl	2,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Waste	Mix	1,2g/L	Mixed	90,30%	[337]
2012	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Waste	Mix	1,2g/L	Mixed	91,00%	[337]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Moringa Oleifera	Fruit	Water	300ppm	Mixed	98,00%	[338]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Brugmansia Suaveolens	Flower	Ethyl Acetate	400ppm	Mixed	93,67%	[339]
2012	HCl	1,0M	Steel Alloy	Cassia Roxburghii	Flower	Ethyl Acetate	400ppm	Mixed	92,86%	[339]
2012	HCl	1,0M	Aluminum	Coconut	Waste	Unspecified	0,5g/L	-	80,00%	[340]
2011	HCl	2,0M	Steel Alloy	Potato	Waste	Water	1000ppm	Mixed	84,00%	[341]
2011	HCl	2,0M	Steel Alloy	Eggplant	Waste	Water	1000ppm	Mixed	79,26%	[342]
2011	HCl	0,1M	Steel Alloy	Andrographis Paniculata	Leaf	Ethanol	0,5g/L	-	92,63%	[343]
2011	HCl	1,4M	Steel Alloy	Areca Catechu	Seed	HCl	500ppm	Mixed	97,61%	[344]
2011	HCl	1,0M	Steel Alloy	Coffee	Seed	Water	400mg/L	Mixed	88,10%	[345]
2011	HCl	1,0M	Steel Alloy	Xylopia Ferruginea	Leaf	Methanol	500ppm	Mixed	82,00%	[346]
2011	HCl	0,1M	Steel Alloy	Guatteria Ouregou	Leaf	Dichloromethane	250mg/L	Mixed	88,00%	[347]
2011	HCl	0,1M	Steel Alloy	Simira Tinctoria	Wood	Dichloromethane	250mg/L	Mixed	90,00%	[347]

2011	HCl	1,0M	Steel Alloy	Uncaria Gambir	Whole Plant	Ethyl Acetate	1000ppm	Mixed	97,25%	[348]
2011	HCl	1,0M	Steel Alloy	Rice	Waste	HCl	0,5g/L	Mixed	88,30%	[349]
2011	HCl	1,0M	Steel Alloy	Murraya Koenigii	Leaf	Unspecified	1000ppm	-	94,20%	[350]
2011	HCl	1,0M	Copper	Rhizophora Apiculata	Wood	Mix	3g/L	Mixed	68,80%	[351]
2011	HCl	1,0M	Aluminum	Gossipium Hirsutum	Leaf	HCl	2,5% (v/v)	-	92,40%	[352]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Hymanaea Stigonocarpa	Waste	Water	1233,4mg/L	-	87,20%	[353]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Hardwickia Binata	Leaf	H2SO4	0,5% (v/v)	Mixed	76,00%	[57]
2020	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Berberis Aristata	Wood	Unspecified	1000ppm	Mixed	98,18%	[354]
2020	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Rhododendron Schlippenbachii	Leaf	Methanol	600ppm	Mixed	87,44%	[355]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Landolphia Heudelotti	Leaf	Water	2500mg/L	Mixed	65,00%	[70]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Salix	Leaf	Water	25ppm	Mixed	80,00%	[356]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Cyperus Rotundus	Whole Plant	H2SO4	12% (v/v)	Mixed	87,90%	[357]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Eucalyptus	Leaf	Ethanol	0,4g/L	Mixed	84,00%	[358]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Musa Acuminata	Waste	Water	500mg/L	Mixed	85,61%	[359]
2020	H2SO4	0,3M	Aluminum	Terminalia Glaucescens	Root	Ethanol	0,4g/L	-	98,60%	[360]
2020	H2SO4	1,0M	Aluminum	Hemerocallis Fulva	Leaf	Methanol	600ppm	Mixed	89,00%	[361]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Adina Cordifolia	Leaf	Ethanol	1,2mL/100mL	Mixed	95,20%	[362]
2020	H2SO4	0,1M	Steel Alloy	Raphanus Sativus	Leaf	Mix	0,5g/L	-	78,00%	[363]
2020	H2SO4	0,1M	Steel Alloy	Spinacia Oleracea	Leaf	Mix	0,5g/L	-	75,00%	[363]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Apium Graveolens	Whole Plant	Unspecified	90% (v/v)	Mixed	95,83%	[364]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Punica Granatum	Fruit	Unspecified	90% (v/v)	Cathodic	87,08%	[364]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Camellia Sinensis	Leaf	Unspecified	90% (v/v)	Cathodic	92,37%	[364]
2020	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Terminalia Chebula	Seed	Ethanol	500mg/L	Mixed	93,23%	[365]
2020	H2SO4	0,5M	Copper	Camellia Sinensis	Leaf	Water	50% (v/v)	-	91,30%	[366]
2020	H2SO4	0,5M	Copper	Camellia Sinensis	Leaf	Water	50% (v/v)	-	79,30%	[366]
2020	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Cucumis Anguria	Leaf	Unspecified	250ppm	-	92,39%	[367]
2019	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Commelina Benghalensis	Leaf	Water	900ppm	Mixed	85,71%	[100]

2019	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Acacia Concinna	Leaf	Methanol	250mg/L	Mixed	94,00%	[368]
2019	H2SO4	1,0M	Aluminum	Borassus Flabellifer	Waste	Water	0,4g/L	Mixed	52,00%	[369]
2019	H2SO4	1,0M	Aluminum	Borassus Flabellifer	Waste	Methanol	0,4g/L	Mixed	66,80%	[369]
2019	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Litchi Chinensis	Waste	Water	3g/L	Mixed	97,80%	[370]
2019	H2SO4	2,0M	Steel Alloy	Mahaleb	Seed	Water	5% (v/v)	Mixed	88,40%	[371]
2019	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Araucaria Heterophylla	Oil	Water	0,05% (v/v)	Mixed	78,57%	[372]
2019	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Malvaviscus Arboreus	Aerial Parts	Mix	500ppm	-	97,50%	[373]
2019	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Syzygium Aromaticum	Seed	Ethanol	500mg/L	Mixed	93,25%	[374]
2019	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Paullinia Cupana	Waste	H2SO4	20g/L	-	57,40%	[132]
2019	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Citrus Aurantifolia	Leaf	Water	250mg/L	Mixed	96,46%	[375]
2019	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Curcuma Longa	Root	Methanol	1000ppm	Mixed	99,00%	[376]
2019	H2SO4	1,0M	Aluminum	Bassia Muricata	Whole Plant	Ethanol	300ppm	Mixed	91,70%	[377]
2019	H2SO4	1,5M	Stainless Steel	Barley	Waste	Water	3g/L	-	88,10%	[378]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Cuscuta Reflexa	Fruit	Ethanol	500mg/L	Mixed	95,47%	[379]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Alkana Tinctoria	Root	Unspecified	500mg/L	Mixed	91,63%	[380]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Ficus Religiosa	Fruit	Ethanol	500mg/L	-	88,29%	[381]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Pongamia Pinnata	Leaf	Methanol	100ppm	Mixed	94,64%	[382]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Musa Paradisica	Waste	Ethyl Acetate	400mg/L	-	83,00%	[173]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Armoracia Rusticana	Root	Unspecified	100mg/L	Mixed	95,74%	[383]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Achyranthes Aspera	Fruit	Ethanol	500mg/L	Mixed	90,94%	[384]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Eriobotrya Japonica	Leaf	Unspecified	100% (v/v)	Cathodic	96,00%	[385]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Valeriana Wallichii	Root	Unspecified	500mg/L	Mixed	93,47%	[386]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Asparagus Racemosus	Fruit	Ethanol	100mg/L	Mixed	93,25%	[387]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Saraca Ashoka	Seed	Ethanol	100 mg/L	Mixed	95,50%	[388]
2018	H2SO4	2,0M	Steel Alloy	Piper Guineense	Leaf	Unspecified	5% (v/v)	-	42,00%	[389]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Myristica Fragans	Fruit	Ethanol	500mg/L	Mixed	87,81%	[390]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Prunus Persica	Leaf	Unspecified	600ppm	Mixed	97,00%	[391]

2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Coriandrum Sativum	Seed	Unspecified	1000mg/L	Mixed	96,70%	[190]
2018	H2SO4	1,5M	Stainless Steel	Barley	Wood	H2SO4	4.0 g/L	Mixed	92,90%	[392]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Sida cordifolia	Leaf	Water	500 mg/L	Mixed	99,00%	[393]
2018	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Acacia cyanophylla	Leaf	Water	200 ppm	Mixed	83,80%	[394]
2017	H2SO4	0,5M	Copper	Arghel	Whole Plant	Methanol	100ppm	Mixed	76,84%	[395]
2017	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Butea Monosperma	Flower	Water	500mg/L	-	98,41%	[396]
2017	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Aster koraiensis	Leaf	Methanol	2000 ppm	Mixed	90,50%	[397]
2017	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Houttuynia Cordata	Leaf	H2SO4	0.7 g g/L	Mixed	90,00%	[398]
2017	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Acacia cyanophylla	Leaf	Water	200ppm	Mixed	84,00%	[399]
2017	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Lannea coromandelica	Leaf	Water	250 mg/L	Mixed	93,80%	[400]
2017	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Corchorus Olitorius	Leaf	Water	200 ppm	Mixed	84,00%	[401]
2017	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Ervatamia Coronaria	Leaf	H2SO4	50% (w/v)	Mixed	89,92%	[224]
2017	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Peumus Boldus	Leaf	Methanol	1g/L	Mixed	73,00%	[402]
2017	H2SO4	2,0M	Other	Pomegranate	Waste	Water	500ppm	Mixed	91,86%	[403]
2017	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Mentha Pulegium	Leaf	Water	2g/L	-	90,30%	[404]
2017	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Myrmecodia Pendans	Whole Plant	Unspecified	300mg/L	-	73,33%	[405]
2016	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Ficus Racemosa	Wood	Methanol	2500ppm	Mixed	90,50%	[406]
2016	H2SO4	2,0M	Other	Fenugreek	Seed	Water	200mL/L	Mixed	90,70%	[237]
2016	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Thyme	Leaf	Mix	12g/L	-	89,00%	[407]
2016	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Cryptostegia Grandiflora	Leaf	Unspecified	500ppm	Mixed	87,54%	[408]
2016	H2SO4	0,3M	Steel Alloy	Calotropis Procera	Leaf	Ethanol	0.60% (v/v)	-	75,50%	[250]
2016	H2SO4	0,3M	Steel Alloy	Calotropis Procera	Oil	Ethanol	0.60% (v/v)	-	79,11%	[250]
2016	H2SO4	0,3M	Steel Alloy	Calotropis Procera	Fruit	Ethanol	0.60% (v/v)	-	82,24%	[250]
2016	H2SO4	0,3M	Steel Alloy	Calotropis Gigantea	Leaf	Ethanol	0.60% (v/v)	-	74,37%	[250]
2016	H2SO4	0,3M	Steel Alloy	Calotropis Gigantea	Oil	Ethanol	0.60% (v/v)	-	80,24%	[250]
2016	H2SO4	0,3M	Steel Alloy	Calotropis Gigantea	Fruit	Ethanol	0.60% (v/v)	-	80,16%	[250]
2016	H2SO4	2,0M	Copper	Fenugreek	Seed	Unspecified	20% (v/v)	-	85,60%	[409]

2016	H2SO4	2,0M	Other	Fenugreek	Seed	Unspecified	20% (v/v)	-	83,50%	[409]
2016	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Medicago Sativa	Leaf	Methanol	500ppm	Mixed	92,00%	[410]
2016	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Rhus verniciflua	Leaf	Methanol	500ppm	Mixed	91,01%	[411]
2016	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Mustard	Seed	Hexane	1000mg/L	Mixed	76,00%	[259]
2016	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Anthocleista Djalensis	Leaf	Unspecified	5g/L	-	93,77%	[412]
2015	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Rothmannia Longiflora	Leaf	Water	1000mg/L	Cathodic	96,50%	[265]
2015	H2SO4	2,0M	Steel Alloy	Nicotiana Tabacum	Leaf	Water	10g/L	-	94,13%	[413]
2015	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Aniba Canelilla	Wood	Ethanol	300mg/L	-	83,90%	[414]
2015	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Feronia Elephantum	Leaf	Ethanol	300ppm	Mixed	83,49%	[272]
2015	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Syzygium Cumini	Seed	Water	600ppm	Mixed	81,66%	[273]
2015	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Strawberry	Fruit	H2SO4	2g/L	Mixed	79,60%	[274]
2015	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Green Tea	Leaf	Water	500ppm	Mixed	71,65%	[277]
2015	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Watermelon	Waste	H2SO4	2g/L	Mixed	77,34%	[280]
2015	H2SO4	1,0M	Stainless Steel	Aloe Vera	Leaf	Water	30% (v/v)	Mixed	96,00%	[415]
2015	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Mint	Leaf	Unspecified	320mg/L	Mixed	94,01%	[416]
2015	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Gundelia Tournefortii	Leaf	Unspecified	150ppm	Mixed	90,00%	[285]
2015	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Brassica Oleracea	Leaf	Ethanol	0,1g/L	Mixed	98,31%	[417]
2014	H2SO4	5,0M	Steel Alloy	Hemidesmus indicus	Leaf	Ethanol	4.0 g/L	Mixed	90,60%	[418]
2014	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Allium Sativum	Fruit	Unspecified	400ppm	Mixed	96,00%	[419]
2014	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Kleinia Grandiflora	Leaf	Ethanol	150ppm	Mixed	81,68%	[420]
2014	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Kigelia Pinnata	Leaf	Ethanol	125ppm	Mixed	85,45%	[295]
2014	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Tagetes erecta (Marigold flower)	Flower	Ethanol	1.0 g/L	Mixed	98,10%	[421]
2014	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Opuntia Elatior	Fruit	Ethanol	50ppm	Mixed	72,58%	[299]
2014	H2SO4	6,0M	Steel Alloy	Retama Retam	Leaf	Water	2000ppm	Anodic	95,38%	[422]
2014	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Opuntia Elatior	Waste	Methanol	1000 ppm	Cathodic	94,00%	[423]
2014	H2SO4	0,6M	Steel Alloy	Hibiscus Sabdariffa	Leaf	Unspecified	15g/100mL	-	73,00%	[307]
2013	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Chlorophytum Borivilianum	Root	Water	500mg/L	Mixed	84,00%	[311]

2013	H2SO4	0,5M	Aluminum	Prosopis Laevigata	Leaf	Methanol	200ppm	Cathodic	93,53%	[424]
2012	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Laurus Nobilis	Leaf	H2SO4	20g/L	Cathodic	91,00%	[425]
2012	H2SO4	0,5M	Aluminum	Spondias Mombin	Leaf	H2SO4	5% (v/v)	Mixed	80,30%	[426]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Piper Guineense	Leaf	H2SO4	900mg/L	Mixed	97,70%	[330]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Cordia Sebestena	Leaf	Unspecified	50% (v/v)	Mixed	95,79%	[427]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Stevia Rebaudiana	Leaf	H2SO4	0,08g/L	Mixed	90,06%	[428]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Chlomolaena Odorata	Leaf	Ethanol	5% (v/v)	-	95,00%	[429]
2012	H2SO4	0,5M	Steel Alloy	Punica Granatum	Seed	Ethanol	600mg/L	Mixed	84,80%	[335]
2012	H2SO4	1,0M	Steel Alloy	Punica Granatum	Waste	Water	1g/L	Mixed	94,20%	[337]
2020	NaCl	1wt%	Steel Alloy	White Mulberry	Leaf	Water	400mg/L	-	88,00%	[430]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Papaver somniferum	Leaf	Water	1600ppm	-	91,00%	[431]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Carthamus Tinctorius	Flower	Water	1g/L	Mixed	84,00%	[432]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Carthamus Tinctorius	Leaf	Water	1g/L	Mixed	60,00%	[432]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Carthamus Tinctorius	Aerial Parts	Water	1g/L	Mixed	44,00%	[432]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Esfand	Seed	Water	1000ppm	Mixed	93,20%	[433]
2020	NaCl	3wt%	Other	Bagassa guianensis	Whole Plant	Mix	100mg/L	-	97,00%	[434]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Lemon Balm	Leaf	Water	200ppm	Mixed	93,00%	[435]
2020	NaCl	-	Steel Alloy	Prunus dulcis	Leaf	Unspecified	200ppm	Mixed	38,20%	[436]
2020	NaCl	3wt%	Steel Alloy	Morinda Citrifolia	Leaf	Methanol	0,42%	-	59,00%	[437]
2020	NaCl	3,5wt%	Copper	Equisetum Arvense	Wood	Methanol	1000ppm	Mixed	87,50%	[438]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Pomelo	Waste	Unspecified	8000ppm	-	71,15%	[74]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Lawsonia Inermis	Whole Plant	Water	10%	-	90,14%	[439]
2020	NaCl	Seawater	Steel Alloy	Taraxacum Officinale	Whole Plant	Mix	400mg/L	-	94,00%	[440]
2020	NaCl	3,0wt%	Steel Alloy	Ceratonía Siliqúe	Leaf	Unspecified	400ppm	-	76,00%	[441]
2020	NaCl	3,0wt%	Steel Alloy	Olea Europaea	Leaf	Methanol	-	Mixed	91,90%	[442]
2020	NaCl	3,5wt%	Aluminum	Terminalia Glaucescens	Root	Ethanol	0,2g/L	-	91,50%	[360]
2020	NaCl	3,0wt%	Copper	Olea Europaea	Leaf	Water	-	Mixed	95,00%	[443]

2020	NaCl	3wt%	Other	<i>Pistacia Terebinthus</i>	Leaf	Methanol	200ppm	-	96,96%	[444]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Catharanthus Roseus</i>	Wood	Ethanol	-	Mixed	96,00%	[445]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Esfand	Seed	Water	300ppm	Mixed	98,80%	[446]
2020	NaCl	3wt%	Steel Alloy	<i>Wuluh Starfruit</i>	Leaf	Ethanol	16mL/100mL	-	99,70%	[447]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Lawsonia Inermis</i>	Whole Plant	Water	-	-	81,70%	[448]
2020	NaCl	3wt%	Other	<i>Parkia Speciosa</i>	Waste	Unspecified	6% (w/v)	-	90,00%	[449]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Hibiscus Sabdariffa</i>	Flower	Ethanol	4000ppm	-	81,32%	[450]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Jatropha Curcas</i>	Leaf	Ethanol	4000ppm	-	90,26%	[450]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Primrose	Flower	Water	300ppm	Mixed	95,30%	[451]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Kalanchoe Blossfeldina</i>	Whole Plant	Water	300ppm	Mixed	92,60%	[452]
2020	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Garcinia Gummigutta</i>	Seed	Water	-	-	93,00%	[453]
2019	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Mangifera Indica</i>	Leaf	Ethanol	400mg/L	Mixed	91,00%	[454]
2019	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Chicorium Intybus</i>	Leaf	Water	400mg/L	Mixed	94,00%	[455]
2019	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Basil	Leaf	Water	5g/L	-	89,00%	[456]
2019	NaCl	Seawater	Steel Alloy	<i>Phoenix Dactylifera</i>	Leaf	Methanol	25% (v/v)	-	78,98%	[457]
2019	NaCl	3wt%	Copper	<i>Ruta Chalepensis</i>	Leaf	Ethyl Acetate	40ppm	-	85,90%	[458]
2019	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Juglans Regia</i>	Waste	Unspecified	1000ppm	Mixed	94,00%	[459]
2019	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Medicago Sativa</i>	Whole Plant	Methanol	300ppm	Mixed	74,50%	[460]
2019	NaCl	3wt%	Steel Alloy	<i>Solanum Trilobatum</i>	Leaf	Methanol	250ppm	Mixed	91,30%	[145]
2019	NaCl	3wt%	Other	Aloe Vera	Waste	Unspecified	150ppm	Cathodic	89,00%	[461]
2019	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Coptis Chinenses</i>	Root	Ethanol	1500ppm	Mixed	98,00%	[462]
2019	NaCl	Seawater	Steel Alloy	<i>Leucaena Leucocephala</i>	Leaf	Ethanol	6%	Mixed	96,12%	[463]
2019	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Allium Sativum</i>	Fruit	Water	10mL/100mL	Mixed	92,00%	[464]
2018	NaCl	Seawater	Steel Alloy	<i>Elaeis guineensis</i>	Leaf	Ethanol	5%	Mixed	94,74%	[465]
2018	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Anabasis Aretioides</i>	Root	Methanol	10%	Mixed	87,00%	[466]
2018	NaCl	3,5wt%	Copper	Coffee	Waste	Unspecified	100ppm	Mixed	95,00%	[467]
2018	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	<i>Ricinus Communis</i>	Fruit	Methanol	100ppm	Mixed	79,00%	[468]

2018	NaCl	3wt%	Steel Alloy	Brassica Campestris	Aerial Parts	Ethanol	80ppm	-	79,30%	[469]
2018	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Nettle	Leaf	Unspecified	400ppm	Mixed	95,00%	[470]
2018	NaCl	3,0wt%	Copper	Propolis	Oil	Ethanol	2mL/100mL	-	83,45%	[471]
2018	NaCl	3,0wt%	Copper	Propolis	Oil	Ethanol	3500mg/L	-	74,28%	[472]
2018	NaCl	3,5wt%	Copper	Coffee	Waste	Hexane	100ppm	Mixed	95,00%	[473]
2018	NaCl	3,0wt%	Steel Alloy	Matricaria Recutita	Whole Plant	Water	15%(v/v)	Mixed	98,90%	[474]
2018	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Caesalpinia Sappan	Wood	Unspecified	2mL/400mL	Mixed	53,18%	[475]
2018	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Cymbopogon Citratus	Leaf	Methanol	0,08%	-	99,35%	[476]
2017	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Tangerine	Waste	Ethanol	4%(v/v)	Mixed	83,30%	[477]
2017	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Nettle	Leaf	Water	200ppm	Mixed	61,00%	[478]
2017	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Pomelo	Waste	Ethanol	0,4g/L	Mixed	86,00%	[479]
2017	NaCl	3,5wt%	Other	Slanum Nigrum	Leaf	Methanol	500ppm	Mixed	73,20%	[480]
2017	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Cichorium Intybus	Leaf	Water	200ppm	Mixed	93,00%	[481]
2017	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Ilex Kudingcha	Leaf	Ethanol	4%(v/v)	Mixed	96,53%	[482]
2017	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Glycyrrhiza Glabra	Whole Plant	Water	600ppm	Mixed	57,00%	[483]
2017	NaCl	3,0wt%	Copper	Mate Tea	Leaf	Water	25%	Mixed	56,00%	[233]
2017	NaCl	3,0wt%	Aluminum	Mate Tea	Leaf	Water	1%	Mixed	99,00%	[233]
2016	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Prosopis Juliflora	Leaf	Methanol	100ppm	Mixed	91,00%	[484]
2016	NaCl	Seawater	Steel Alloy	Tobacco Rob	Leaf	Water	150mg/L	-	86,30%	[485]
2016	NaCl	3,0wt%	Copper	Olea Europaea	Leaf	Water	2,5mmol/L	Cathodic	86,00%	[486]
2016	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Calatropis Proceras	Leaf	Unspecified	50ppm	Mixed	80,00%	[487]
2016	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Myrmecodia Pendans	Whole Plant	Ethanol	400mg/L	Mixed	91,41%	[488]
2015	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Morinda Lucida	Leaf	Unspecified	3,33g/L	Mixed	90,59%	[489]
2015	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Gingko Biloba	Fruit	Ethanol	1000ppm	Mixed	97,00%	[490]
2015	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Dioscorea Hispida	Root	Water	2000ppm	-	95,97%	[491]
2014	NaCl	3,5wt%	Aluminum	Coptis Chinenses	Root	Ethanol	1000ppm	Mixed	94,00%	[492]
2014	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Gingko Biloba	Fruit	Ethanol	1000ppm	Mixed	92,00%	[493]

2014	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Myrmecodia Pendans	Whole Plant	Ethanol	500mg/L	Mixed	68,94%	[494]
2014	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Myrmecodia Pendans	Whole Plant	Ethanol	500ppm	Mixed	75,61%	[495]
2013	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Momordica Charantia	Seed	Ethanol	1000ppm	Mixed	95,00%	[496]
2013	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Vernonia Amygdalina	Leaf	Water	25%	-	90,08%	[497]
2013	NaCl	0,5wt%	Steel Alloy	Croton Cajucara	Wood	Methanol	250ppm	Cathodic	93,84%	[498]
2013	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Myrmecodia Pendans	Wood	Ethanol	500ppm	Mixed	90,36%	[499]
2012	NaCl	3,5wt%	Steel Alloy	Piper Betle + Green Tea	Leaf	Unspecified	5000ppm	Mixed	96,00%	[500]

***IE significa eficiência de inibição (*inhibition efficiency*).**

4.3. Tendências da pesquisa sobre inibidores a base de plantas

4.3.1. Ano de publicação

A Figura 9 apresenta a distribuição do número de publicações ao longo dos anos (2011-2020) nos três diferentes meios corrosivos avaliados neste trabalho (HCl, H₂SO₄ e NaCl) de modo a salientar as tendências mais recentes das publicações científicas sobre esse tema.

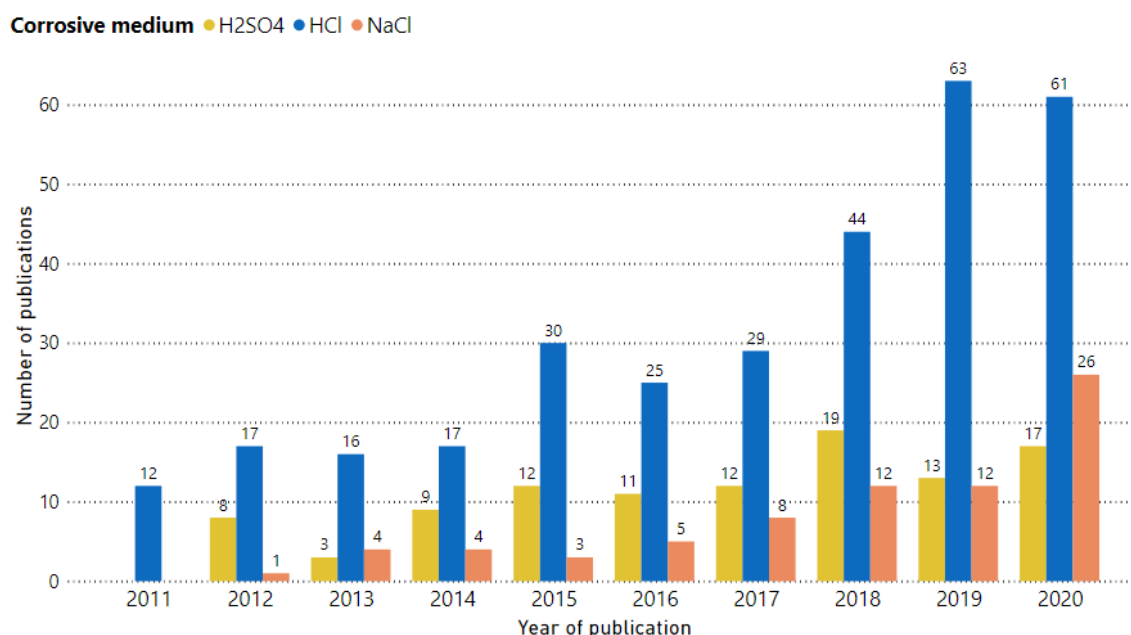


Figura 9. Distribuição do número de publicações retornadas pelo *Web of Science* com os códigos de pesquisa consolidados ao longo dos anos (2011-2020) nos três meios corrosivos avaliados (HCl, H₂SO₄ e NaCl).

À primeira vista, fica evidente o aumento do número de publicações sobre o tema dos inibidores verdes à base de planta ao longo dos anos, o que pode ser atestado tanto pelo maior número de publicações apresentado pelos três meios corrosivos nos anos mais recentes quanto pela inexistência de publicações sobre os meios corrosivos compostos por H₂SO₄ e NaCl no ano de 2011. De maneira geral, ao longo dos anos, o número de publicações sobre H₂SO₄ como meio corrosivo manteve-se razoavelmente constante enquanto os demais meios corrosivos apresentaram claras tendências de aumento. Avaliando-se as publicações sobre o NaCl nos últimos 2 anos, por exemplo, nota-se um crescimento de 116,7% no número de publicações, o que sugere um aumento recente do interesse científico pelo uso de inibidores a base de planta para tal meio corrosivo.

4.3.2. Metal/liga metálica onde a corrosão ocorre

A Figura 10 apresenta o número de publicações avaliadas de acordo com o metal-base utilizado na avaliação da eficiência de inibição de corrosão dos extratos. As categorias utilizadas na classificação desses metais foram: ligas ferrosas, alumínio, cobre, aço inoxidável e outros, que engloba ferro, níquel, zinco, latão e bronze. Vale ressaltar que na categoria de liga ferrosa foram considerados aços-carbono, normalmente indicados pelos autores como *mild steel*, *carbon steel* ou simplesmente *steel* com a composição química da liga descrita no corpo do texto. Não foi considerado nesse grupo o aço inoxidável (*stainless steel*), apesar de ser uma liga ferrosa, devido às particularidades desse tipo de aço em relação à corrosão frente aos demais.

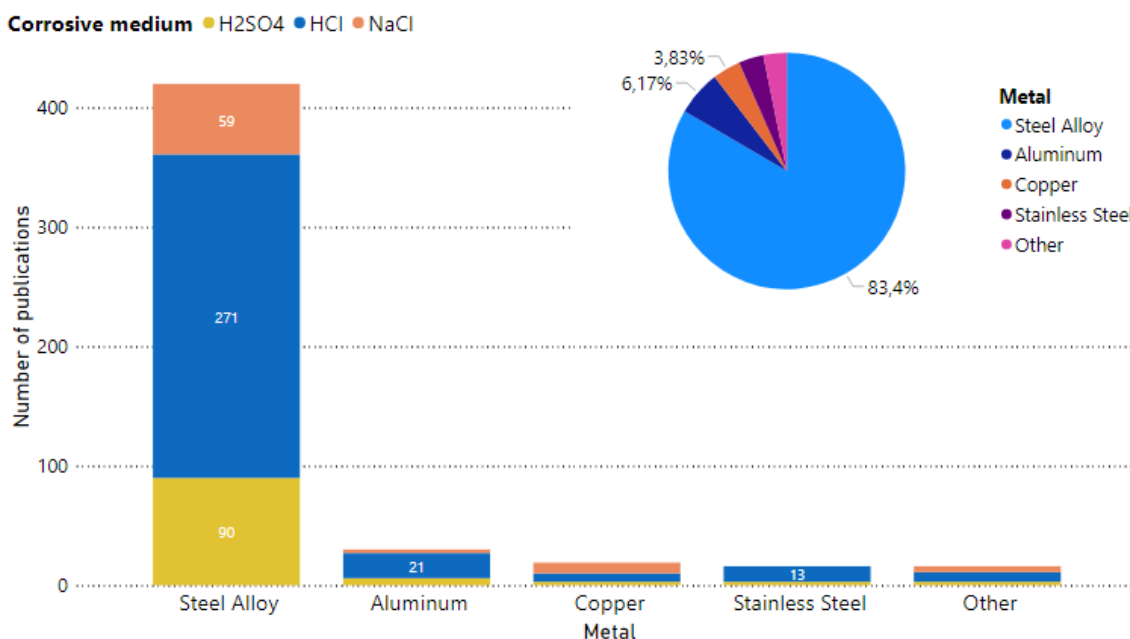


Figura 10. Número de publicações obtidas através do *Web of Science* de acordo com o tipo de metal-base utilizado na verificação da eficiência de inibição da corrosão.

Nota-se que a grande maioria dos estudos avaliados focam na inibição de corrosão para ligas ferrosas (mais de 83% das referências), provavelmente devido à grande aplicabilidade deste material metálico na indústria. Além disso, deve-se levar em consideração o fato de que essas ligas são mais suscetíveis à corrosão do que outros metais, como o aço inoxidável. Ainda, no caso alumínio, por exemplo, existem técnicas protetivas contra corrosão consolidadas e eficientes, como a anodização. Estes fatores

podem ajudar a explicar o menor interesse da comunidade científica pelo desenvolvimento de inibidores eficientes para os demais metais. Entretanto, estudos envolvendo tal técnica para proteção de alumínio e suas ligas, cobre, aço inoxidável, etc., também foram encontrados, porém em escala muito reduzida.

4.3.3. Partes da planta usadas como insumo

A Figura 11 evidencia o número destas publicações que utilizam cada uma das diferentes partes das plantas na produção dos extratos usados como inibidores de corrosão. O gráfico foi produzido de modo a visualizar as partes da planta que apresentam maiores propensões a atuarem como tal. As categorias utilizadas para as partes de planta usadas nos trabalhos seguem a classificação apresentada na Figura 3. Tais categorias (e suas descrições) são: *leaf* (folhagens); *waste* (casca, bagaço, resíduo pós processamento); *seed* (semente); *fruit* (parte consumível da planta, por exemplo, no caso do alho (*Allium sativum*), quando indicado que foram usados dentes de alho para a produção do extrato, a publicação foi categorizada como *fruit*); *wood* ou *wooden parts* (casca da árvore, caule, galhos); *aerial parts* (toda a planta acima da terra); *whole plant* (planta inteira); *flower* (flor); *root* (raiz); *oil* (látex, goma, néctar).

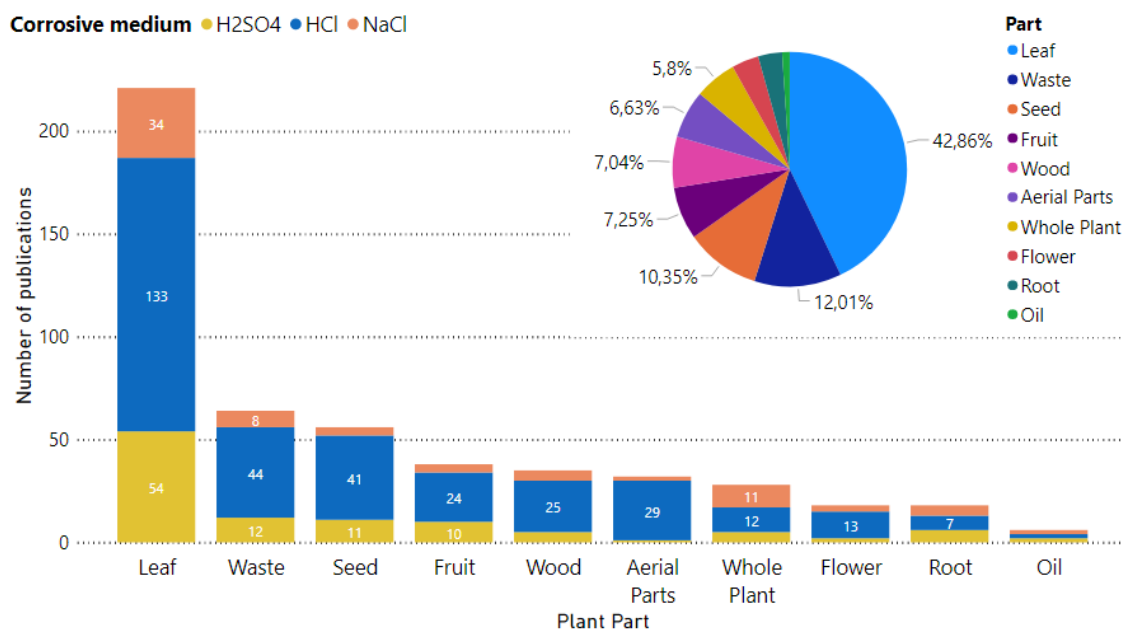


Figura 11. Número de publicações obtidas através do *Web of Science* de acordo com as partes das plantas usadas na produção dos extratos utilizados como inibidores de corrosão.

É notável a predileção das publicações científicas pelo uso das folhas para a produção dos extratos, uma vez que estas são responsáveis por quase 43% das citações. Imediatamente após, aparecem partes das plantas que são consideradas resíduos, como cascas e bagaço e, em seguida, aparecem as sementes, que, salvo seu aproveitamento no cultivo de novas plantas, são também frequentemente descartadas como resíduos. Pesquisas que focam esforços no uso de resíduos ou rejeitos de produtos agrícolas como matéria-prima para os extratos utilizados como de inibidores de corrosão permitem agregar valor a tais insumos, o que pode ser muito interessante economicamente, além de propiciar destino ambientalmente mais adequado a este material.

Por outro lado, o uso de partes comestíveis das plantas, que também aparecem em um número significativo de publicações, é um fator preocupante, já que a fome no mundo é uma questão que está longe de ser solucionada e a aplicação de alimentos com outras finalidades pode gerar uma competição por esses insumos que é pouco vantajosa para o combate a este grave problema social. Essa constatação se torna ainda mais grave ao se levar em consideração a grande disponibilidade de outros insumos provenientes de plantas para atingir a mesma finalidade.

A título de exemplificação, por um lado, há trabalhos focados no uso de resíduos de origem vegetal como insumos para a extração dos inibidores, como a fase aquosa após processo de moagem das azeitonas (*Olea europaea*) na fabricação do azeite [313], o que atualmente representa um efluente industrial que demanda tratamento, ou ainda o uso de casca de semente de girassol (*sunflower*) [188], o que constitui um resíduo sólido. Por outro, há trabalhos que usam frutas como morango (*strawberry*) em seu estado de consumo para extração de moléculas com potencial de inibição de corrosão [274]. A Figura 12 compara as eficiências de inibição de corrosão em ligas ferrosas obtidas pelos extratos utilizados nesses três trabalhos.

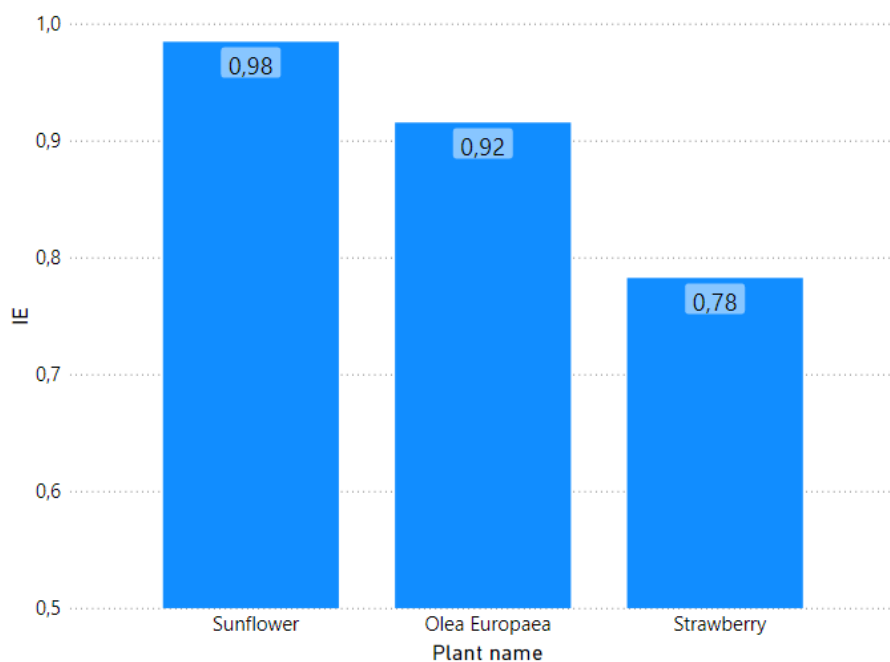


Figura 12. Comparação das eficiências de inibição de corrosão relatadas nas publicações que utilizam casca de semente de girassol, efluente de moagem de azeitonas e morangos como matéria-prima para os extratos utilizados como inibidores de corrosão.

O bom desempenho em termos de eficiência de inibição da corrosão demonstrado por diversos resíduos provenientes de plantas, juntamente com as questões éticas e humanitárias associadas ao uso de alimentos para a mesma finalidade, indicam que não há vantagens que justifiquem a aplicação de alimentos como matéria-prima para esta tecnologia. Portanto, essa linha de pesquisa deveria ser desencorajada.

4.3.4. Solvente utilizado para a extração

A Figura 13 classifica as publicações avaliadas em relação aos solventes usados na extração dos insumos a base de plantas.

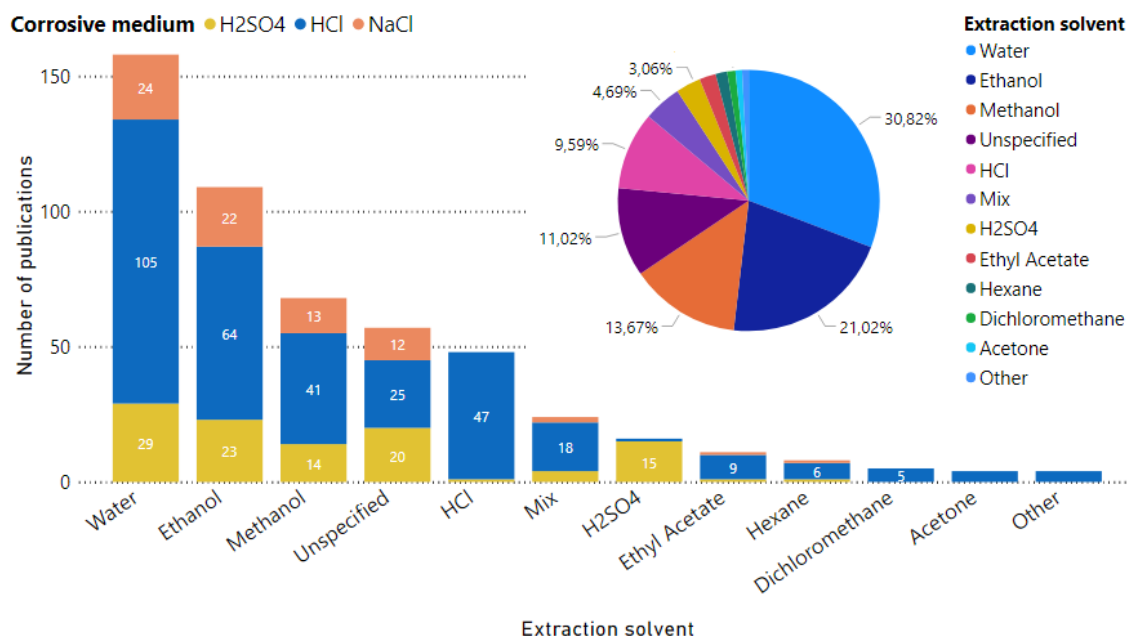


Figura 13. Número de publicações obtidas através do *Web of Science* de acordo com o solvente usado na extração dos insumos de plantas utilizados como inibidores de corrosão.

Primeiramente, destaca-se que diversos trabalhos avaliaram o uso dos próprios HCl e H₂SO₄ como solventes de extração, os quais correspondem aos principais meios corrosivos estudados neste trabalho. Ao analisar as eficiências de inibição demonstradas pelos mesmos, utilizando-se a Tabela 4, constata-se que esta foi superior a 80% em 81% dos casos para H₂SO₄ e em 82% dos casos para HCl. Ademais, nota-se que a maior parte das publicações que estudaram esses solventes avaliaram a eficiência de inibição em meio corrosivo composto pelo mesmo ácido. Esse fator, juntamente às boas eficiências de inibição observadas, aponta para a possibilidade de desenvolvimento de processos em que a extração dos inibidores de corrosão a partir da matéria-prima de plantas ocorra *in situ*, por refluxos do próprio fluido do meio corrosivo.

Além disso, observa-se que a maior parte das extrações de insumos de plantas se deu com o uso de água, etanol ou metanol como solventes, que são compostos comumente utilizados para essa função. Ao contrário dos dois primeiros, o metanol é um solvente bastante tóxico e seu emprego neste processo de extração poderia ser justificado por uma suposta eficiência elevada de inibição da corrosão. Para fins de aprofundamento, verificou-se a participação, em porcentagem, dos solventes utilizados para extração, considerando a base de dados da Tabela 4, que obtiveram eficiências de inibição da

corrosão acima de 95% em ligas ferrosas para meios corrosivos compostos por 1 M HCl. O resultado é expresso na Figura 14.

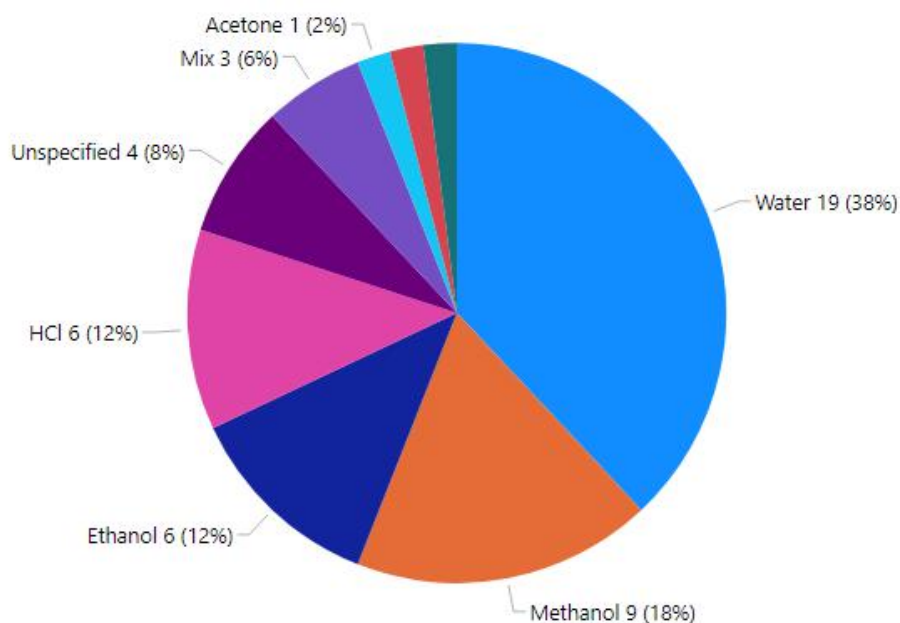


Figura 14. Solvente utilizado na produção dos extratos de plantas de todos os estudos que apresentaram eficiência de inibição de corrosão superior a 95% em ligas ferrosas para meios corrosivos compostos por 1 M HCl.

Apesar do metanol aparecer em um número significativo de trabalhos com alta eficiência de inibição de corrosão, ao ser comparado com o percentual de estudos totais (detalhe da Figura 13), estatisticamente, ele não se destaca frente aos demais solventes. É possível inferir, por exemplo, que extratos à base de água podem apresentar eficiências de inibição elevadas em proporção similar aos extratos a base de metanol. Portanto, o uso desse solvente deve ser evitado.

Há ainda um exemplo de estudo que verificou o uso desses três solventes de extração (água, etanol e metanol) em condições idênticas de aplicação (corrosão em liga ferrosa, com meio corrosivo composto por 1 M HCl e utilizando folhas de *Pterocarpus santalinoides* como insumo) [79]. Os autores reportaram eficiências de inibição de 75% para a água, 85% para o etanol e 72% para o metanol, o que sugere que o par planta-solvente deve ser avaliado de forma criteriosa antes do uso industrial do inibidor.

Outro dado interessante sobre os solventes utilizados na extração é que alguns autores relataram o uso de misturas de solventes em extrações sequenciadas (*mix*) de modo a melhorar o desempenho dos respectivos extratos na inibição da corrosão. A Figura 15 foi produzida para verificar os benefícios das extrações sequenciadas. Ela traz as eficiências médias de inibição de corrosão de ligas ferrosas em meios corrosivos ácidos reportadas para extratos das plantas *Olea europaea* [176,195,264,313], *Camellia sinensis* [126,160,331,364], *Punica granatum* [91,181,288,294,322,335,337,364] e *Phoenix dactylifera* [42,47,97,106,135,196,283,309] em diferentes solventes.

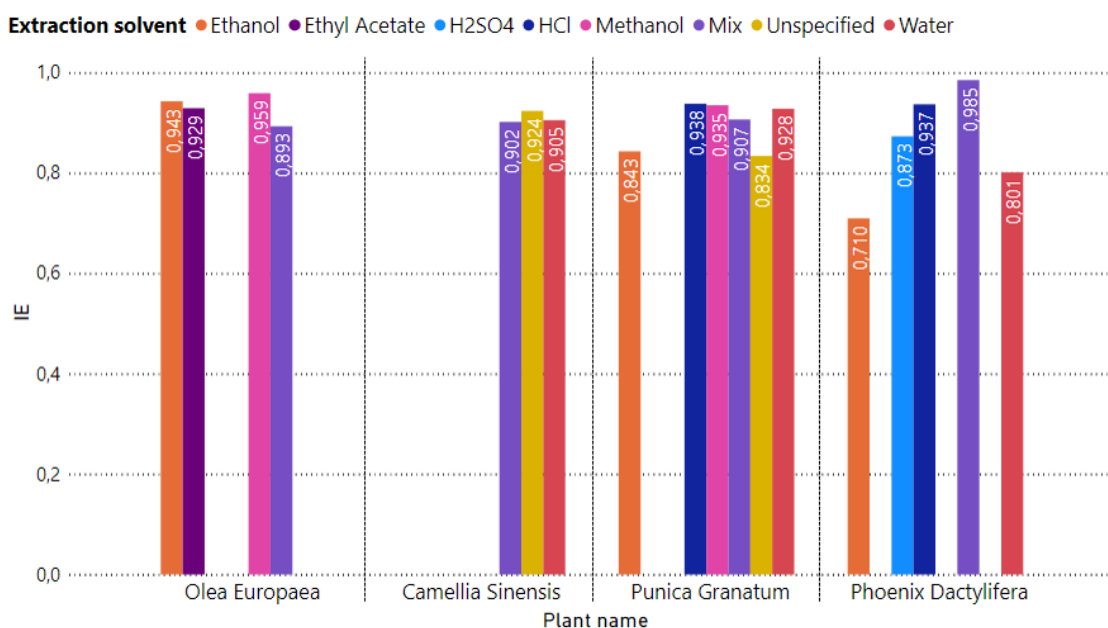


Figura 15. Eficiências médias de inibição de corrosão de ligas ferrosas em meios corrosivos ácidos para extratos das plantas *Olea europaea*, *Camellia sinensis*, *Punica granatum* e *Phoenix dactylifera* em diferentes solventes.

Ao avaliar o desempenho desses casos particulares, observa-se que, em geral, tal processo de extração não apresentou melhoria significativa da eficiência de inibição em comparação aos demais, uma vez que ele normalmente não produz eficiências superiores às observadas pelos inibidores produzidos por outros processos de extração. Isso indica que essa opção de extração se torna pouco interessante devido a esse processo ser mais caro e meticuloso. Vale ressaltar que esses trabalhos, por vezes, são de diferentes autores que podem utilizar ligas ferrosas, metodologias de extração e de medição de inibição de corrosão distintas podendo resultar em variâncias no resultado, portanto as eficiências de inibição da Figura 15 devem ser comparadas apenas qualitativamente.

4.3.5. Mecanismo de inibição

Os mecanismos de ação dos inibidores das publicações avaliadas, seguindo a classificação apresentada e descrita no item 2.4 (catódico, anódico, misto ou de adsorção) encontram-se classificados na Figura 16, de acordo com as informações reportadas pelos autores.

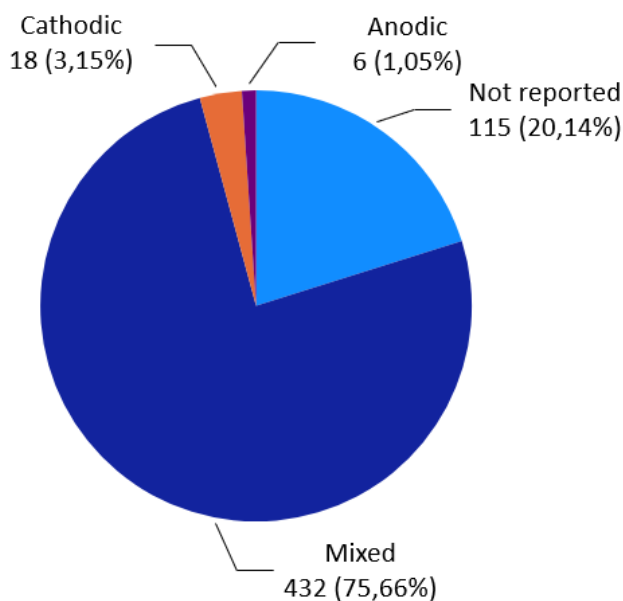


Figura 16. Mecanismos de ação dos inibidores de corrosão de acordo com o reportado nas publicações avaliadas.

Ao avaliar os mecanismos de inibição indicados nas publicações, nota-se que nenhuma publicação reporta o mecanismo de inibição por adsorção e que aproximadamente 76% do total de estudos reporta mecanismo de inibição misto. Este é um fator interessante uma vez que tal mecanismo atua tanto retardando a ocorrência das reações anódicas quanto polarizando as regiões catódicas da superfície metálica.

Entretanto, como os inibidores de adsorção atuam como filmes protetores sobre as regiões catódicas e anódicas, conforme discutido no item 2.4, eles produzem resultados no ensaio de polarização similares aos de inibidores mistos e, portanto, essas classificações podem se confundir. Por inibidores a base de planta serem essencialmente inibidores orgânicos, há fortes indícios de que grande parte destes inibidores reportados como mistos serem, na verdade, inibidores de adsorção.

Observa-se, ainda, um número considerável de publicações que não reportam o mecanismo de ação do inibidor estudado. Isso ocorre porque, para essa classificação, são necessários avaliações de polarização e/ou conhecimento da estrutura molecular dos compostos que atuam sobre a superfície metálica. Publicações que realizaram apenas estudo de perda de massa não possuem dados suficientes para tal classificação.

4.3.6. Eficiência de inibição

A Figura 17 classifica os estudos avaliados em categorias de acordo com a faixa de eficiência de inibição reportada pelos autores. Vale destacar que, para esta avaliação, foram computadas todas as condições experimentais avaliadas como um estudo e não mais o número de publicações.

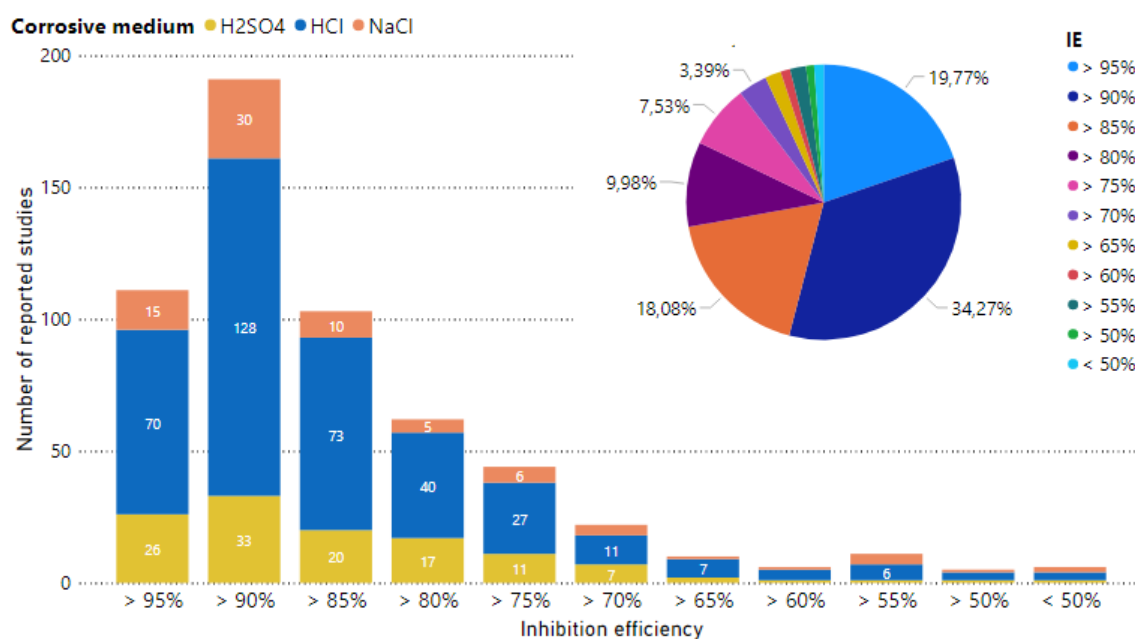


Figura 17. Classificação das condições experimentais verificadas pelas publicações avaliadas de acordo com a eficiência de inibição da corrosão reportada pelos autores.

O gráfico permite a constatação de que a maior parte dos experimentos reportados com inibidores verdes a base de plantas exibem ótimas eficiências de inibição de corrosão, com mais da metade dos estudos apresentando valores de eficiência de acima de 90%. Isso é uma evidência robusta do enorme potencial desses insumos para atuar na solução desse grave problema industrial. A maior concentração de resultados de eficiência encontra-se na faixa entre 90 e 95%.

Cabe salientar que a maioria das publicações visa otimizar a eficiência de inibição através da variação da concentração de extrato adicionado ao meio corrosivo, apenas. Nesse contexto, muitas vezes se encontram concentrações ótimas de extrato muito elevadas, o que descaracteriza a viabilidade econômica desses estudos já que a nível industrial seriam necessárias quantidades muito elevadas de inibidor para atingir um nível adequado de eficiência de inibição da corrosão.

A variação de outros parâmetros experimentais, como as condições em que a extração é realizada (tipo de solvente, temperatura, etc.) poderia favorecer o desempenho desses compostos – melhorando a eficiência de inibição de corrosão desses compostos, mesmo em concentrações reduzidas. Um exemplo dessa possibilidade é a avaliação da variação do tipo de solvente usado na extração [79], já descrita no item 4.3.4.

4.3.7. Plantas utilizadas como insumo

Apesar de mais de 360 espécies de plantas terem sido mencionadas em todas as publicações avaliadas, apenas quatro entre elas foram mencionadas como insumos para a produção de extratos usados na inibição da corrosão dos três meios corrosivos avaliados em diferentes publicações. A Figura 18 classifica tais publicações em relação a cada uma dessas plantas, às eficiências médias de inibição observadas e ao número de condições experimentais em cada categoria.

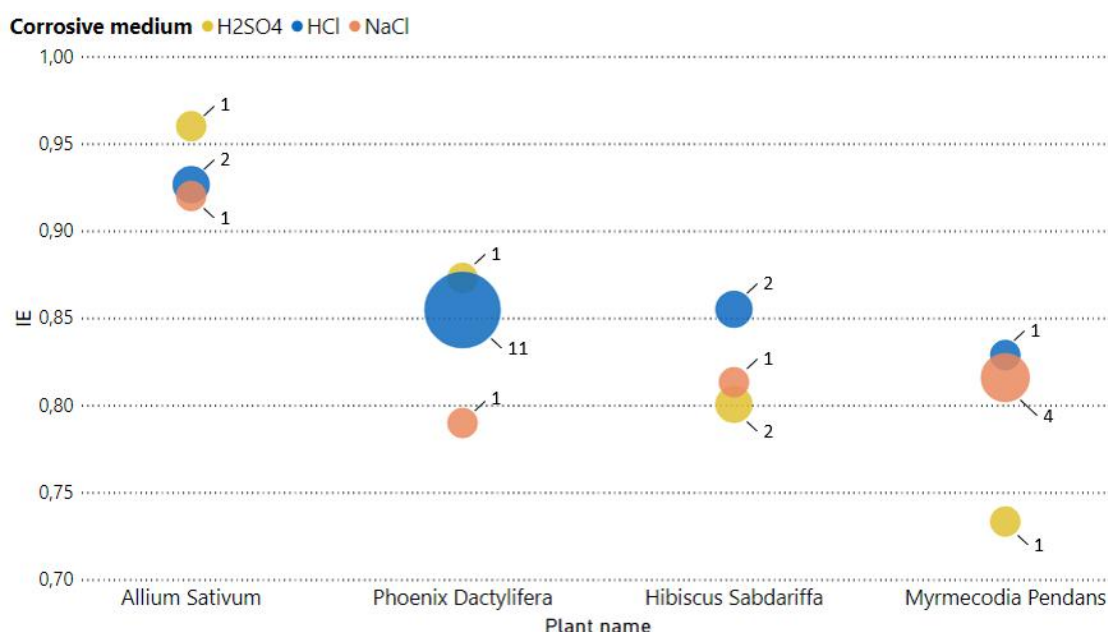


Figura 18. Classificação das condições experimentais verificadas pelas publicações avaliadas de acordo com a média da eficiência de inibição da corrosão reportada pelos autores para tal grupamento de trabalhos.

Os exemplos demonstrados no gráfico da Figura 18 evidenciam que uma mesma planta pode apresentar potencial para atuar na inibição da corrosão em diferentes meios corrosivos, tanto ácidos quanto salinos. Em especial a *Allium sativum* apresentou valores de eficiência inibição de corrosão em ligas ferrosas acima de 90% para os três meios analisados [201,231,419,464]. Reforça-se a importância de se focar esforços em otimizar os estudos para que inibidores a base de planta tenham comprovação robusta de sua eficácia em diferentes meios ácidos e salino.

A fim de se verificar a reprodutibilidade do desempenho das plantas mais comumente mencionadas nas publicações avaliadas, investigou-se quais dentre elas apareciam de forma recorrente. Das mais de 360 espécies mencionadas em alguma publicação, menos de 20% delas apareciam mais de uma vez. Dessas, 21 plantas foram mencionadas em pelo menos 3 publicações e apenas 9 em 4 ou mais publicações. As diferentes eficiências de inibição de corrosão exercidas por essas 9 plantas estão apresentadas na Figura 19.

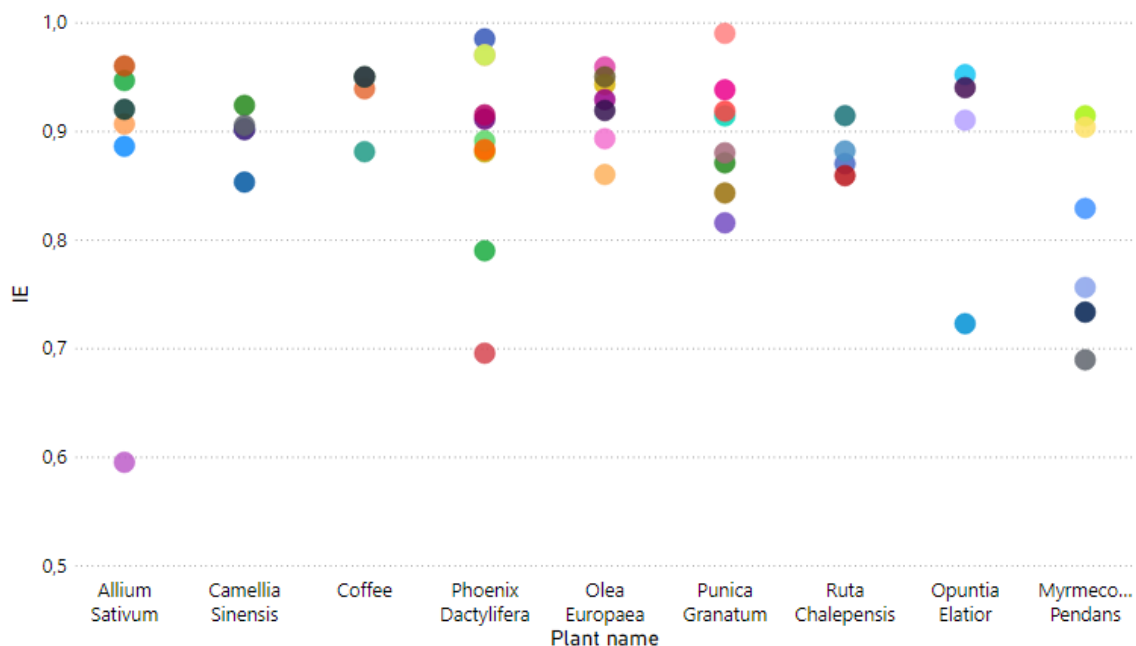


Figura 19. Eficiências de inibição de corrosão classificadas por plantas mencionadas em pelo menos 4 publicações.

Algumas observações relevantes sobre o desempenho de cada uma dessas plantas são descritas a seguir:

- *Allium sativum* – 4 publicações reportam o uso dessa planta em ligas ferrosas, todas com eficiências de inibição acima de 90% [201,231,419,464]. Vale destacar que duas dessas publicações utilizam resíduos dessa planta (cascas do fruto) como insumo para a produção dos inibidores [201,231]. O único resultado que se destaca dos demais pela baixa eficiência de inibição deriva de um estudo aplicado em latão [254].
- *Camellia sinensis* – 4 publicações reportam o uso dessa planta em ligas ferrosas, todas com eficiências de inibição acima de 90% [126,160,331,364]. A única publicação cuja eficiência de inibição média está abaixo de 90% avaliou o efeito desta planta em duas ligas de cobre [366].
- Coffee – 2 publicações reportam o uso dessa planta em ligas ferrosas, ambas com eficiências de inibição próximas a 90% [166,345] além de 2 outras publicações que reportam o seu uso em cobre, ambas com eficiências de inibição acima de 90% [467,473]. 3 dessas 4 publicações utilizam resíduos de café (casca do fruto ou borra) como insumo para a produção dos inibidores, todas com mais de 90% de eficiência de inibição [166,467,473].
- *Phoenix dactylifera* – 9 dentre as 11 publicações que mencionam essa planta obtiveram eficiências de inibição de corrosão em meios ácidos acima de 85% [42,47,97,106,135,169,283,298,309]. Dentre essas, 3 utilizaram resíduos desta planta (casca do fruto) e o próprio meio corrosivo (HCl) como solvente, todas com eficiências de inibição acima de 90% [106,135,169]. As únicas duas publicações que apresentaram resultados de eficiência de inibição abaixo de 80% são referentes a estudos feitos para meio corrosivo de NaCl (água do mar natural) [457] e de HCl em alta concentração (4,4 M) [196].
- *Olea europaea* – Todas as 7 publicações obtiveram eficiências de inibição de corrosão acima de 85%, sendo que 4 dentre elas avaliaram os efeitos de inibição da corrosão de ligas ferrosas em meio corrosivo de HCl [176,195,264,313]. Destaque para a

publicação que avaliou o uso de resíduo (efluente aquoso da moagem do fruto para produção de azeite) com eficiência de 93% [313].

- *Punica granatum* – Todas as 8 publicações reportam o uso dessa planta em ligas ferrosas e em meio corrosivo ácido, todas com eficiências de inibição acima de 80%. Destaque para duas publicações que utilizaram resíduos da planta (casca do fruto) para produzir os extratos: a primeira proporcionou eficiências de inibição da corrosão de liga ferrosa maiores do que 90% tanto em meio corrosivo de HCl quanto de H₂SO₄ [337]; e a segunda encontrou incríveis 99% de inibição de corrosão de liga ferrosa em meio corrosivo de HCl para uma extração feita com metanol [288].
- *Ruta chalepensis* – Todas as 4 publicações reportaram resultados de inibição de corrosão acima de 85%, sendo 3 delas aplicadas a ligas ferrosas em meio corrosivo de HCl [119,198,308] e a quarta, a cobre em meio corrosivo de NaCl [458].
- *Opuntia elatior* – Dentre as 4 publicações, 3 obtiveram eficiências de inibição acima de 90% para ligas ferrosas em meios corrosivos ácidos (HCl ou H₂SO₄) [217,281,423]. Destaque para a publicação que utilizou resíduo (casca do fruto) e obteve eficiência de 94% [423]. Entretanto, a quarta publicação, única dentre as 4 a utilizar etanol como solvente para a extração, obteve eficiência de inibição de aproximadamente 70% nos mesmos meios corrosivos ácidos (HCl ou H₂SO₄) para ligas ferrosas [299]. Isso reforça a importância de sempre se buscar solventes adequados à extração de cada planta.
- *Myrmecodia pendans* – Todos as 6 publicações para esta planta são provenientes do mesmo grupo de estudos, com resultados de eficiência bastante variáveis. Destaca-se que publicações que utilizaram condições experimentais idênticas obtiveram eficiências de inibição de corrosão em torno de 70% ao utilizarem toda a planta como insumo para o extrato [494,495] e acima de 90% ao utilizar apenas o caule [499].

5. Conclusões

5.1. Principais constatações

- Há poucas pesquisas envolvendo o uso de inibidores verdes à base de planta em meio corrosivo de ácido nítrico, portanto não foi possível realizar avaliação de tendências para essa vertente;
- Há um número reduzido de publicações que avaliam a influência dos inibidores verdes à base de planta simultaneamente em meios corrosivos ácidos e salinos. A fim de desenvolver um produto de aplicação mais generalizada, é de suma importância que sejam realizados estudos que considerem a aplicação de um mesmo inibidor em diferentes meios corrosivos;
- Estudos envolvendo inibidores verdes à base de planta se concentram em regiões de menor nível de desenvolvimento tecnológico, fora dos principais polos de pesquisa do mundo, provavelmente devido ao menor acesso a técnicas avançadas de combate à corrosão e maior disponibilidade de produtos agrícolas e cobertura vegetal natural;
- Diversos estudos envolvendo o uso de resíduos provenientes de plantas apresentaram bom desempenho em termos de eficiência de inibição da corrosão. Este fato, juntamente com as questões éticas e humanitárias associadas ao uso de alimentos para a mesma finalidade, indicam que não há vantagens que justifiquem a aplicação de partes comestíveis de plantas como matéria-prima para esta tecnologia. Portanto, essa linha de pesquisa não deveria ser fomentada;
- Diferentes compostos comumente utilizados como solvente em processos de extração, como água, etanol e metanol, foram avaliados para a produção desses inibidores, com relatos de elevada eficiência de inibição da corrosão para cada um deles. Logo, o uso de metanol, potencialmente tóxico, deve ser evitado;
- O processo de extrações sequenciadas não gerou melhoria significativa da eficiência de inibição em relação a extrações unitárias. Isso indica que essa opção de extração se torna pouco interessante devido a esse processo ser mais caro e meticuloso;

- A aplicação como solventes de extração de ácidos que constituem os próprios meios corrosivos avaliados (HCl e H₂SO₄), juntamente às boas eficiências de inibição observadas, aponta para a possibilidade de desenvolvimento de processos em que a extração desses inibidores ocorra *in situ*, por refluxos do próprio fluido do meio corrosivo;
- Inibidores verdes à base de planta atuam, na grande maioria dos casos, via mecanismo de inibição misto, o que é interessante já que isso significa que eles atuam tanto retardando reações anódicas quanto polarizando regiões catódicas da superfície metálica;
- A maior parte dos experimentos reportados com inibidores verdes à base de planta exibem ótimas eficiências de inibição de corrosão, com mais da metade dos estudos apresentando valores de eficiência de acima de 90%. Isso evidencia o enorme potencial desses insumos para atuar como substitutos ambientalmente corretos dos inibidores de corrosão convencionais.

5.2. Considerações finais

Tendo em vista o número expressivo de publicações sobre inibidores verdes de corrosão à base de planta e os bons resultados demonstrados por eles, fica comprovada a eficácia desse tipo de insumo para minimização dos efeitos da corrosão. É de suma importância priorizar o aprimoramento dos métodos de produção e aplicação de plantas com potencial de inibição já conhecido em vez de estender este catálogo. Além disso, é evidente a importância de focar esforços na investigação do uso de resíduos vegetais como insumo para essa tecnologia. Por fim, com o objetivo de gerar produtos que tenham vasta atuação na indústria, é essencial avaliar um cenário completo, em que a combinação de insumo vegetal e solvente de extração maximize a eficiência de inibição de corrosão do extrato, a aplicabilidade do mesmo em diferentes meios corrosivos gere boas eficiências de inibição e que, se possível, apresente potencial adicional de atuação na inibição de incrustação (problema que assola a indústria em meios salinos e de água dura).

5.3. Sugestões para pesquisas futuras

- Avaliação do uso do extrato de resíduos vegetais como inibidor de corrosão em meios ácidos e salino
- Avaliação do uso do extrato de resíduos vegetais como inibidor de corrosão e de incrustação em meio salino
- Estudo de elevação do potencial de inibição de corrosão de vegetais via otimização do processo de extração
- Estudo dos principais resíduos do cenário agrícola-industrial brasileiro como inibidor de corrosão

6. Referências bibliográficas

- [1] V. Gentil, Corrosão, 4th ed., LTC, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2011. (In Portuguese).
- [2] E. McCafferty, Introduction to corrosion science, Springer Science & Business Media, Alexandria, VA, USA, 2010. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0455-3>.
- [3] S.Z. Salleh, A.H. Yusoff, S.K. Zakaria, M.A.A. Taib, A. Abu Seman, M.N. Masri, M. Mohamad, S. Mamat, S. Ahmad Sobri, A. Ali, P. Ter Teo, Plant extracts as green corrosion inhibitor for ferrous metal alloys: A review, *J. Clean. Prod.* 304 (2021) 127030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127030>.
- [4] N. Arndt, S. Kesler, C. Ganino, Classification, distribution and uses of ores and ore deposits, in: *Met. Soc.*, 2nd ed., Springer International Publisher, Gewerbeatrasse, Switzerland, 2015: pp. 15–40. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17232-3_2.
- [5] S.A. Umoren, M.M. Solomon, I.B. Obot, R.K. Suleiman, A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals, *J. Ind. Eng. Chem.* 76 (2019) 91–115. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.057>.
- [6] V.V. Torres, Extratos de produtos naturais como inibidores de corrosão para o aço-carbono 1020, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- [7] F.D. Pannoni, Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio, in: *Coletânea Do Uso Do Aço*, 4th ed., 2007: p. 90. http://www.onety.com.br/laminacao/downloads/8_protecao_estruturas_met_corrosao_incendio.pdf.
- [8] J.C. da Rocha, Obtenção de inibidores de corrosão a partir de extratos de produtos naturais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [9] M.A.B. Câmara, Avaliação do agente desemulsificante na eficiência de inibidor de corrosão e no tratamento de óleo em uma plataforma de produção de petróleo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- [10] B. Hou, X. Li, X. Ma, C. Du, D. Zhang, M. Zheng, W. Xu, D. Lu, F. Ma, The cost of corrosion in China, *Mater. Degrad.* 1 (2017) 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41529-017-0005-2>.
- [11] E.S. Rieder, V. Brusamarello, A. Bianchi, A. Balbinot, Investigação dos principais processos de corrosão em estações de energia elétrica do Estado do RS, *Matéria (Rio Janeiro)*. 14 (2009) 1000–1014. <https://doi.org/10.1590/s1517-70762009000300012>.
- [12] R.W. Revie, H.H. Uhlig, Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science

and engineering, 4th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2008.

- [13] S.A. Umoren, M.M. Solomon, Recent developments on the use of polymers as corrosion inhibitors - a review, *Open Mater. Sci. J.* 8 (2014) 39–54.
<https://doi.org/10.2174/1874088X01408010039>.
- [14] L.B. Furtado, Desenvolvimento de inibidores verdes a base de alquilfenóis para aplicação em fluidos de acidificação para poços de petróleo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- [15] S.P. Cardoso, Avaliação experimental e teórica de potenciais inibidores de corrosão para aço em ácido clorídrico, Universidade federal do Rio de Janeiro, 2005.
- [16] C.F. de Sá, Extratos de mate verde e carqueja como inibidores de corrosão do aço-carbono 1020 em meio de ácido clorídrico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- [17] A.Y. Kina, Inibidores de corrosão para sistemas de aço carbono submetidos a meios de alta salinidade e presença de CO₂, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- [18] E. Ghali, V.S. Sastri, M. Elboujdaini, *Corrosion prevention and protection: practical solutions*, 1st ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2007.
- [19] Y.I. Kuznetsov, J.G.N. Thomas, A.D. Mercer, *Organic inhibitors of corrosion of metals*, 1st ed., Plenum Publishing Corporation, New York City, NY, USA, 1996.
- [20] R. Fuchs-Godec, Inhibitory effect of non-ionic surfactants of the TRITON-X series on the corrosion of carbon steel in sulphuric acid, *Electrochim. Acta.* 52 (2007) 4974–4981.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.01.075>.
- [21] A.Y. El-Etre, Inhibition of acid corrosion of carbon steel using aqueous extract of olive leaves, *J. Colloid Interface Sci.* 314 (2007) 578–583. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.05.077>.
- [22] X. Jiang, Y.G. Zheng, D.R. Qu, W. Ke, Effect of calcium ions on pitting corrosion and inhibition performance in CO₂ corrosion of N80 steel, *Corros. Sci.* 48 (2006) 3091–3108.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.12.002>.
- [23] O. Gharbi, S. Thomas, C. Smith, N. Birbilis, Chromate replacement: what does the future hold?, *Mater. Degrad.* 2 (2018) 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41529-018-0034-5>.
- [24] F.B. Mainier, R.R. de C.M. da Silva, As Formulações Inibidoras De Corrosão e o Meio Ambiente, *Engevista.* 6 (2004) 106–112. <https://doi.org/10.22409/engevista.v6i3.149>.
- [25] S.A. Umoren, U.M. Eduok, Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: a review, *Carbohydr. Polym.* 140 (2016) 314–341.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.038>.

- [26] N.A. Negm, M.A. Yousef, S.M. Tawfik, Impact of Synthesized and Natural Compounds in Corrosion Inhibition of Carbon Steel and Aluminium in Acidic Media, *Recent Patents Corros. Sci.* 3 (2013) 58–68. <https://doi.org/10.2174/2210683911303010007>.
- [27] M. Sangeetha, S. Rajendran, J. Sathiyabama, A. Krishnaveni, Inhibition of corrosion of aluminium and its alloys by extracts of green inhibitors, *Port. Electrochim. Acta.* 31 (2013) 41–52. <https://doi.org/10.4152/pea.201301041>.
- [28] P. Bothi-Raja, M.G. Sethuraman, Inhibitive effect of black pepper extract on the sulphuric acid corrosion of mild steel, *Mater. Lett.* 62 (2008) 2977–2979. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2008.01.087>.
- [29] M. Abdullah-Dar, A review: plant extracts and oils as corrosion inhibitors in aggressive media, *Ind. Lubr. Tribol.* 63 (2011) 227–233. <https://doi.org/10.1108/00368791111140431>.
- [30] B.E.A. Rani, B.B.J. Basu, Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview, *Int. J. Corros.* 2012 (2012) 380217. <https://doi.org/10.1155/2012/380217>.
- [31] M. Chigondo, F. Chigondo, Recent Natural Corrosion Inhibitors for Mild Steel: An Overview, *J. Chem.* 2016 (2016) 6208937. <https://doi.org/10.1155/2016/6208937>.
- [32] M.R. Vinutha, T. V. Venkatesha, Review on mechanistic action of inhibitors on steel corrosion in acidic media, *Port. Electrochim. Acta.* 34 (2016) 157–184. <https://doi.org/10.4152/pea.201603157>.
- [33] B. Valdez, M. Schorr, N. Cheng, E. Beltran, R. Salinas, Technological applications of volatile corrosion inhibitors, *Corros. Rev.* 36 (2018) 227–238. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2017-0102>.
- [34] B. Kermani, D. Harrop, *Corrosion and Materials in Hydrocarbon Production: A Compendium of Operational and Engineering Aspects*, 1st ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2019.
- [35] ASTM, G31-72 (2004), Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2004. www.astm.org.
- [36] F. Ropital, Environmental degradation in hydrocarbon fuel processing plant: issues and mitigation, in: *Adv. Clean Hydrocarb. Fuel Process. Sci. Technol.*, 1st ed., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2011: pp. 437–462. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-673-3.50018-3>.
- [37] ASTM, G59-97 (2020), Standard test method for conducting potentiodynamic polarization resistance measurements, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2020. www.astm.org.
- [38] ASTM, G102-89 (2015), Standard practice for calculation of corrosion rates and related

information from electrochemical measurements, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2015. www.astm.org.

- [39] A.E.A.S. Fouda, E.A. Haleem, Tussilago farfara extract (TFE) as green corrosion inhibitor for aluminum in hydrochloric acid solution, *Biointerface Res. Appl. Chem.* 10 (2020) 7023–7041. <https://doi.org/10.33263/BRIAC106.70237041>.
- [40] A. Belakhdar, H. Ferkous, S. Djellali, R. Sahraoui, H. Lahbib, Y. Ben Amor, A. Erto, M. Balsamo, Y. Benguerba, Computational and experimental studies on the efficiency of *Rosmarinus officinalis* polyphenols as green corrosion inhibitors for XC48 steel in acidic medium, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 606 (2020) 125458. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125458>.
- [41] L.B. Furtado, J.C. Rocha, J.A.C.P. Gomes, R.C. Nascimento, P.R. Seidl, M.J.O.C. Guimarães, R. V. Tonon, L.M.C. Cabral, G.N. Mattos, Storage time evaluation of a residue from wine industry as a microencapsulated corrosion inhibitor for 1 M HCl, *Mater. Chem. Phys.* 256 (2020) 123739. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123739>.
- [42] I.B. Obot, M.M. Solomon, I.B. Onyeachu, S.A. Umoren, A. Meroufel, A. Alenazi, A.A. Sorour, Development of a green corrosion inhibitor for use in acid cleaning of MSF desalination plant, *Desalination*. 495 (2020) 114675. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114675>.
- [43] X. Wang, Q. Zhang, H. Jiang, Y. Gu, X. Li, L. Xu, *Pueraria lobata* leaf extract as green corrosion inhibitor for low carbon steel in 1.0 M HCl solution, *Res. Chem. Intermed.* 47 (2020) 1051–1069. <https://doi.org/10.1007/s11164-020-04316-3>.
- [44] A. Berrissoul, E. Loukili, N. Mechbal, F. Benhiba, A. Guenbour, B. Dikici, A. Zarrouk, A. Dafali, Anticorrosion effect of a green sustainable inhibitor on mild steel in hydrochloric acid, *J. Colloid Interface Sci.* 580 (2020) 740–752. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.07.073>.
- [45] M.A. El-Hashemy, A. Sallam, The inhibitive action of *Calendula officinalis* flower heads extract for mild steel corrosion in 1 M HCl solution, *J. Mater. Res. Technol.* 9 (2020) 13509–13523. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.078>.
- [46] M.F. Heragh, H. Tavakoli, Electrochemical Properties of a New Green Corrosion Inhibitor Derived from *Prosopis farcta* for St37 Steel in 1 M Hydrochloric Acid, *Met. Mater. Int.* 26 (2020) 1654–1663. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00453-6>.
- [47] N.J. Mohammed, N.K. Othman, Date palm seed extract as a green corrosion inhibitor in 0.5 M HCl medium for carbon steel: Electrochemical measurement and weight loss studies, *Int. J. Electrochem. Sci.* 15 (2020) 9597–9610. <https://doi.org/10.20964/2020.10.45>.
- [48] M.P. Asfia, M. Rezaei, G. Bahlakeh, Corrosion prevention of AISI 304 stainless steel in

- hydrochloric acid medium using garlic extract as a green corrosion inhibitor: Electrochemical and theoretical studies, *J. Mol. Liq.* 315 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113679>.
- [49] L.T. Thanh, N.S.H. Vu, P.M.Q. Binh, V.A. Dao, V.T.H. Thu, P. Van Hien, C. Panaitescu, N.D. Nam, Combined experimental and computational studies on corrosion inhibition of *Houttuynia cordata* leaf extract for steel in HCl medium, *J. Mol. Liq.* 315 (2020) 113787. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113787>.
- [50] M. Manssouri, Z. Lakbaibi, M. Znini, Y.E.L. Ouadi, A. Jaafar, L. Majidi, Impact of *Aaronsohnia pubescens* Essential Oil to Prevent Against the Corrosion of Mild Steel in 1.0 M HCl: Experimental and Computational Modeling Studies, *J. Fail. Anal. Prev.* 20 (2020) 1939–1953. <https://doi.org/10.1007/s11668-020-01003-8>.
- [51] J.A. Selvi, M. Arthanareeswari, P. Kamaraj, T.P. Malini, V. Elumalai, S. Revathi, N. Subasree, Corrosion mitigation by an eco-friendly inhibitor: *Nerium oleander* leaf extract on carbon steel in an acidic medium, *Port. Electrochim. Acta.* 38 (2020) 387–400. <https://doi.org/10.4152/pea.202006387>.
- [52] S. Hazra, S. Mukhopadhyay, U. Adhikari, Green corrosion inhibitor from leaves of purple knight hedge plant for mild steel in 1 m hcl medium: Electrochemical, gravimetric, adsorption and sem studies, *Indian J. Chem. Technol.* 27 (2020) 395–403.
- [53] A.A. Fadhil, A.A. Khadom, S.K. Ahmed, H. Liu, C. Fu, H.B. Mahood, *Portulaca grandiflora* as new green corrosion inhibitor for mild steel protection in hydrochloric acid: Quantitative, electrochemical, surface and spectroscopic investigations, *Surfaces and Interfaces.* 20 (2020) 100595. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100595>.
- [54] A. Berrissoul, A. Ouarhach, F. Benhiba, A. Romane, A. Zarrouk, A. Guenbour, B. Dikici, A. Dafali, Evaluation of *Lavandula mairei* extract as green inhibitor for mild steel corrosion in 1 M HCl solution. Experimental and theoretical approach, *J. Mol. Liq.* 313 (2020) 113493. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113493>.
- [55] M. Kilo, H.T. Rahal, M.H. El-Dakdouki, A.M. Abdel-Gaber, Study of the corrosion and inhibition mechanism for carbon steel and zinc alloys by an eco-friendly inhibitor in acidic solution, *Chem. Eng. Commun.* 0 (2020) 1–10. <https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1811239>.
- [56] A. Thomas, M. Prajila, K.M. Shainy, A. Joseph, A green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid using fruit rind extract of *Garcinia indica* (Binda), *J. Mol. Liq.* 312 (2020) 113369. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113369>.
- [57] R. Vasanthajothi, R. Saratha, K. Krishnaveni, Mild steel green inhibition by *Hardwickia binata* Roxb. leaves extract in acid medium, *J. Adhes. Sci. Technol.* 35 (2020) 296–312. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1801248>.

- [58] E. Ituen, A. Singh, L. Yuanhua, Synthesis of bio-based nickel nanoparticles composite, characterization and corrosion inhibition in simulated oilfield microbial and acidizing environments, *J. Adhes. Sci. Technol.* 35 (2020) 15–34.
<https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1785992>.
- [59] Y. Lekbach, F. Bennouna, S. El Abed, M. Balouiri, M. El Azzouzi, A. Aouniti, S. Ibnsouda Koraichi, Green Corrosion Inhibition and Adsorption Behaviour of *Cistus ladanifer* Extract on 304L Stainless Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Arab. J. Sci. Eng.* 46 (2020) 103–113.
<https://doi.org/10.1007/s13369-020-04791-1>.
- [60] I.A. Abro, M.I. Abro, M.E.H. Assad, M. Rahimi-Gorji, N.M. Hoang, Investigation and evaluation of neem leaves extract as a green inhibitor for corrosion behavior of mild steel: An experimental study, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 235 (2020) 734–743.
<https://doi.org/10.1177/0954406220937723>.
- [61] W.K. Essa, N.K. ISSA, W.H. Abdulqader, I.M. Kamal, The use of eco-friendly wild onion extract (*urinea maritima*) as corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid, *Periódico Tchê Química.* 17 (2020) 367–380.
- [62] A. Batah, A. Anejjar, L. Bammou, M. Belkhaouda, R. Salghi, Effect of apricot almond oil as green inhibitor for steel corrosion in hydrochloric media, *Port. Electrochim. Acta.* 38 (2020) 201–214. <https://doi.org/10.4152/pea.202004201>.
- [63] A.R.I. Mohammed, M.M. Solomon, K. Haruna, S.A. Umoren, T.A. Saleh, Evaluation of the corrosion inhibition efficacy of *Cola acuminata* extract for low carbon steel in simulated acid pickling environment, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27 (2020) 34270–34288.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09636-w>.
- [64] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Potential role of a novel green eco-friendly inhibitor in corrosion inhibition of mild steel in HCl solution: Detailed macro/micro-scale experimental and computational explorations, *Constr. Build. Mater.* 245 (2020) 118464.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118464>.
- [65] H. Boubekraoui, I. Forsal, H. Ouradi, Y. Elkhoutfi, H. Hanin, Effect of dates extracts as environmentally friendly corrosion inhibitor for carbon steel in 1M HCL solution, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 12 (2020) 828–840.
- [66] M. Manssouri, M. Znini, Y. El-Ouadi, A. Ansari, J. Costa, L. Majidi, Essential Oil of *Aaronsohnia Pubescens* Subsp. *Pubescens* as Novel Eco-Friendly Inhibitor for Mild Steel in 1.0 M HCl, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 12 (2020) 841–856.
- [67] E. Ituen, A. Singh, R. Li, L. Yuanhua, C. Guo, Nanostructure, surface and anticorrosion properties of phyto-fabricated copper nanocomposite in simulated oilfield descaling fluid,

- Surfaces and Interfaces. 19 (2020) 100514. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100514>.
- [68] C.A. Santana, J.N. da Cunha, J.G.A. Rodrigues, J. Greco-Duarte, D.M.G. Freire, E. D'Elia, Aqueous Extracts of the Castor Beans as a Corrosion Inhibitor of Mild Steel in HCl Media, *J. Braz. Chem. Soc.* 31 (2020) 1225–1238. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200008>.
- [69] T.K. Bhuvaneswari, C. Jeyaprabha, P. Arulmathi, Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by leaves extract of *Tephrosia purpurea*, *J. Adhes. Sci. Technol.* 34 (2020) 2424–2447. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1766395>.
- [70] C.E. Agiriga, E. Oguzie, A. Chidiebere, N.J. Okorochoa, R.N. Chikwe, Corrosion inhibition action of *Landolphia heudelotii* on mild steel in acidic media, *Pigment Resin Technol.* 49 (2020) 387–392. <https://doi.org/10.1108/PRT-02-2019-0015>.
- [71] E. Ituen, E. Ekemini, L. Yuanhua, A. Singh, Green synthesis of *Citrus reticulata* peels extract silver nanoparticles and characterization of structural, biocide and anticorrosion properties, *J. Mol. Struct.* 1207 (2020) 127819. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.127819>.
- [72] C. Shi, X.P. Song, Y. Kan, Y. Fan, X. Song, Y. Zhang, Z. Zhang, Inhibition corrosion effect of extract from *basella rubra* on carbon steel in HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 15 (2020) 4032–4055. <https://doi.org/10.20964/2020.05.57>.
- [73] M. Manssouri, M. Znini, Z. Lakbaibi, Y. El-Ouadi, L. Majidi, Aqueous Extracts of *Santolina Pectinata* lag., Aerial Parts as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1.0 M HCl, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 12 (2020) 607–624.
- [74] Y.P. Yee, S.N. Saud, E. Hamzah, Pomelo Peel Extract as Corrosion Inhibitor for Steel in Simulated Seawater and Acidic Mediums, *J. Mater. Eng. Perform.* 29 (2020) 2202–2215. <https://doi.org/10.1007/s11665-020-04774-1>.
- [75] W. Emori, R.H. Zhang, P.C. Okafor, X.W. Zheng, T. He, K. Wei, X.Z. Lin, C.R. Cheng, Adsorption and corrosion inhibition performance of multi-phytoconstituents from *Dioscorea septemloba* on carbon steel in acidic media: Characterization, experimental and theoretical studies, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 590 (2020) 124534. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124534>.
- [76] P. Pahuja, N. Saini, Bhaskaran, A. Chaouiki, R. Salghi, S. Kumar, S. Lata, The protection mechanism offered by *Heterophragma adenophyllum* extract against Fe-C steel dissolution at low pH: Computational, statistical and electrochemical investigations, *Bioelectrochemistry.* 132 (2020) 107400. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.107400>.
- [77] S. Bangera, V.D.P. Alva, Aqueous Extract of *Macaranga Peltata* Leaves—Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* 56 (2020)

259–266. <https://doi.org/10.3103/S1068375520020040>.

- [78] E.E. El-Katori, A.S. Fouda, R.R. Mohamed, Synergistic corrosion inhibition activity of the chicoriumintybus extract and iodide ions for mild steel in acidic media, *J. Chil. Chem. Soc.* 65 (2020) 4672–4681. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072020000104672>.
- [79] C.C. Ahanotu, I.B. Onyeachu, M.M. Solomon, I.S. Chikwe, O.B. Chikwe, C.A. Eziukwu, *Pterocarpus santalinoides* leaves extract as a sustainable and potent inhibitor for low carbon steel in a simulated pickling medium, *Sustain. Chem. Pharm.* 15 (2020) 100196. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100196>.
- [80] C.N. Mbah, C.C. Onah, K.C. Nnakwo, Effectiveness of *Irvingia wombolu* extract on corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution, *Eng. Res. Express.* 2 (2020) 015039. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ab78ec>.
- [81] P.R. Sivakumar, A.P. Srikanth, Green corrosion inhibitor: A comparative study, *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.* 45 (2020) 56. <https://doi.org/10.1007/s12046-020-1283-x>.
- [82] M. Faiz, A. Zahari, K. Awang, H. Hussin, Corrosion inhibition on mild steel in 1 M HCl solution by: *Cryptocarya nigra* extracts and three of its constituents (alkaloids), *RSC Adv.* 10 (2020) 6547–6562. <https://doi.org/10.1039/c9ra05654h>.
- [83] G.M. Al-Senani, Synthesis of ZnO-NPs using a *Convolvulus arvensis* leaf extract and proving its efficiency as an inhibitor of carbon steel corrosion, *Materials (Basel)*. 13 (2020) 890. <https://doi.org/10.3390/ma13040890>.
- [84] A. Sedik, D. Lerari, A. Salci, S. Athmani, K. Bachari, H. Gecibesler, R. Solmaz, Dardagan Fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical and surface morphological studies, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 107 (2020) 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.12.006>.
- [85] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Applying detailed molecular/atomic level simulation studies and electrochemical explorations of the green inhibiting molecules adsorption at the interface of the acid solution-steel substrate, *J. Mol. Liq.* 299 (2020) 112220. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112220>.
- [86] M. Şahin, S. Bilgiç, G. Gece, Inhibition of Armco iron corrosion in 1 m hcl medium using saponin: Experimental and computational studies, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (2020) 1444–1458. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-4-16>.
- [87] Y. Stiadi, M. Efdi, H. Aziz, Emriadi, *Gleichenia linearis burm.* Leaf extract as corrosion inhibitor of mild steel in hydrochloric acid medium, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (2020) 1498–1515. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-4-20>.

- [88] A.S. Fouda, A.M. Ahmed, S.M. El-Darier, I.M. Ibrahim, *Moringa oleifera* as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid solution, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (2020) 1630–1647. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-4-27>.
- [89] K. Muthukumarasamy, S. Pitchai, K. Devarayan, L. Nallathambi, Adsorption and corrosion inhibition performance of *Tunbergia fragrans* extract on mild steel in acid medium, *Mater. Today Proc.* 33 (2020) 4054–4058. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.533>.
- [90] G.C.E. Arguelles, M.C.D. Torres, B.J.U. Wu, J.G. Olay, R.C. Ong, (Calamansi) *Citrofortunella Microcarpa* Rind Extract As Plant Derived Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1.0M HCl, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 778 (2020) 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012007>.
- [91] A. Marsoul, M. Ijjaali, F. Elhajjaji, M. Taleb, R. Salim, A. Boukir, Phytochemical screening, total phenolic and flavonoid methanolic extract of pomegranate bark (*Punica granatum* L): Evaluation of the inhibitory effect in acidic medium 1 M HCl, *Mater. Today Proc.* 27 (2020) 3193–3198. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.202>.
- [92] G. Fekkar, F. Yousfi, H. Elmsellem, M. Aiboudi, M. Ramdani, I. Abdel-Rahman, B. Hammouti, L. Bouyazza, Eco-friendly *chamaerops humilis* l. Fruit extract corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCL, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (2020) 446–459. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-2-4>.
- [93] S. Cherrad, I. Jaouadi, Y. El-Aoufir, M. Tiskar, B. Satrani, M. Ghanmi, A. Guenbour, A. Chaouch, Unveiling corrosion inhibition properties of the *cupressus arizonica* leaves essential oil for carbon steel in 1.0 M HCl, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (2020) 607–622. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-2-15>.
- [94] O.O. Ogunleye, A.O. Arinkoola, S.O. Alagbe, O.O. Agbede, A.E. Omodele, A.F. Morakinyo, Y.A. Osho, Synthesis of green corrosion inhibitor for mild steel in acidic environment, *Indian Chem. Eng.* 62 (2020) 52–66. <https://doi.org/10.1080/00194506.2019.1625815>.
- [95] B. Anwar, T. Khairunnisa, Y. Sunarya, Corrosion inhibition of A516 carbon steel in 0.5 M HCl solution using *Arthrospira platensis* extract as green inhibitor, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (2020) 244–256. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-1-15>.
- [96] I. Jaouadi, S. Cherrad, M. Tiskar, M. Tabyaoui, M. Ghanmi, B. Satrani, A. Chaouch, Wood tar essential oil from *Cedrus atlantica* of Morocco (Middle atlas) as a green corrosion inhibitor for mild steel in 1 M hydrochloric acid solution, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (2020) 265–283. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-1-17>.
- [97] E.A. Şahin, R. Solmaz, I.H. Gecibesler, G. Kardaş, Adsorption ability, stability and corrosion inhibition mechanism of *Phoenix dactylifera* extrat on mild steel, *Mater. Res. Express.* 7 (2020)

016585. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6ad3>.

- [98] O.O. Ogunleye, A.O. Arinkoola, O.A. Eletta, O.O. Agbede, Y.A. Osho, A.F. Morakinyo, J.O. Hamed, Green corrosion inhibition and adsorption characteristics of *Luffa cylindrica* leaf extract on mild steel in hydrochloric acid environment, *Heliyon*. 6 (2020) e03205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03205>.
- [99] S. Chen, B. Zhu, X. Liang, Corrosion inhibition performance of coconut leaf extract as a green corrosion inhibitor for X65 steel in hydrochloric acid solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 15 (2020) 1–15. <https://doi.org/10.20964/2020.01.39>.
- [100] K.R. Ahamed, B.A. Farzana, S.J. Diraviam, R. Dorothy, S. Rajendran, A. Al-Hashem, Electrochemical characterization of catechol-dimethylamine adduct at different pH values, *Port. Electrochim. Acta.* 37 (2019) 51–70. <https://doi.org/10.4152/pea.201901051>.
- [101] M. Khan, M.M.S. Abdullah, A. Mahmood, A.M. Al-Mayouf, H.Z. Alkathlan, Evaluation of *Matricaria aurea* extracts as effective anti-corrosive agent for mild steel in 1.0 M HCl and isolation of their active ingredients, *Sustain.* 11 (2019) 7174. <https://doi.org/10.3390/SU11247174>.
- [102] I. Nadi, Z. Belattmania, B. Sabour, A. Reani, A. Sahibed-dine, C. Jama, F. Bentiss, *Sargassum muticum* extract based on alginate biopolymer as a new efficient biological corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid pickling environment: Gravimetric, electrochemical and surface studies, *Int. J. Biol. Macromol.* 141 (2019) 137–149. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.253>.
- [103] P. Muthukrishnan, P. Prakash, B. Jeyaprabha, K. Shankar, Stigmasterol extracted from *Ficus hispida* leaves as a green inhibitor for the mild steel corrosion in 1 M HCl solution, *Arab. J. Chem.* 12 (2019) 3345–3356. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.09.005>.
- [104] D.I. Njoku, G.N. Onuoha, E.E. Oguzie, K.L. Oguzie, A.A. Egbedina, A.N. Alshawabkeh, *Nicotiana tabacum* leaf extract protects aluminium alloy AA3003 from acid attack, *Arab. J. Chem.* 12 (2019) 4466–4478. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.07.017>.
- [105] E.E. El-Katori, A.S. Fouda, R.R. Mohamed, The Synergistic Impact of the Aqueous Valerian Extract and Zinc Ions for the Corrosion Protection of Mild Steel in Acidic Environment, *Zeitschrift Fur Phys. Chemie.* 233 (2019) 1713–1739. <https://doi.org/10.1515/zpch-2019-1377>.
- [106] N.I.N. Haris, S. Sobri, Y.A. Yusof, N. Kassim, Oil palm empty fruit bunch extract and powder as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel: A comparison study, *Mater. Corros.* 70 (2019) 2326–2333. <https://doi.org/10.1002/maco.201910959>.
- [107] Q. Wang, Q. Wang, Z. Ni, H. Bao, X. Li, Evaluation of corrosion inhibition to *Pteridium*

- aquilinum extract via the methods of electrochemistry experiment, *Mater. Res. Express.* 6 (2019) 125504. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5479>.
- [108] M. Afrokh, S. Echihi, M. Tabyaoui, S. Tahrouch, A. Hormatallah, A. Hatimi, H. Harhar, M. El-Faydy, A. Zarrouk, The Valorization of the Hammada Scoparia Extract as an Eco-friendly Corrosion Inhibitor for Carbon Steel Corrosion in 1 M HCl, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 11 (2019) 1482–1499.
- [109] K. Dob, E. Zouaoui, N. Ammouchi, D. Zouied, Corrosion Inhibition of A 106 Gr B Carbon Steel by Thapsia Garganica Extracts in 1 M Hydrochloric Acid, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 11 (2019) 1500–1516.
- [110] R.K. Ahmed, S. Zhang, Alchemilla Vulgaris Extract as Green Inhibitor of Copper Corrosion in Hydrochloric Acid, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 10657–10669. <https://doi.org/10.20964/2019.11.43>.
- [111] G. Bahlakeh, A. Dehghani, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Highly effective mild steel corrosion inhibition in 1 M HCl solution by novel green aqueous Mustard seed extract: Experimental, electronic-scale DFT and atomic-scale MC/MD explorations, *J. Mol. Liq.* 293 (2019) 111559. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111559>.
- [112] A.O. Yüce, Corrosion Inhibition Behavior of Robinia pseudoacacia Leaves Extract as a Eco-Friendly Inhibitor on Mild Steel in Acidic Media, *Met. Mater. Int.* 26 (2019) 456–466. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00509-7>.
- [113] S. Jayakumar, T. Nandakumar, M. Vadivel, C. Thinaharan, R.P. George, J. Philip, Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl using Tamarindus indica extract: electrochemical, surface and spectroscopic studies, *J. Adhes. Sci. Technol.* 34 (2019) 713–743. <https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1681156>.
- [114] M.T. Saeed, M. Saleem, S. Usmani, I.A. Malik, F.A. Al-Shammari, K.M. Deen, Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl by sweet melon peel extract, *J. King Saud Univ. - Sci.* 31 (2019) 1344–1351. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.01.013>.
- [115] A. Abdulmajid, T.S. Hamidon, A.A. Rahim, M.H. Hussin, Tamarind shell tannin extracts as green corrosion inhibitors of mild steel in hydrochloric acid medium, *Mater. Res. Express.* 6 (2019) 106579. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3b87>.
- [116] N.A. Rozuli, T.S. Hamidon, M.H. Hussin, Evaluation of Piper sarmentosum extract's corrosion inhibitive effects and adsorption characteristics for the corrosion protection of mild steel in 0.5 M HCl, *Mater. Res. Express.* 6 (2019) 106524. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3677>.
- [117] S. Nikpour, M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Mahdavian, Eriobotrya

- japonica Lindl leaves extract application for effective corrosion mitigation of mild steel in HCl solution: Experimental and computational studies, *Constr. Build. Mater.* 220 (2019) 161–176. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.005>.
- [118] S. Chitra, I.M. Chung, S.H. Kim, M. Prabakaran, A study on anticorrosive property of phenolic components from *Pachysandra terminalis* against low carbon steel corrosion in acidic medium, *Pigment Resin Technol.* 48 (2019) 389–396. <https://doi.org/10.1108/PRT-09-2018-0095>.
- [119] M.A. Benghalia, C. Fares, A. Khadraoui, M.H. Meliani, R.K. Suleiman, A.A. Sorour, I.M. Dmytrakh, Z. Azari, Assessment of corrosion inhibitory effect of *Ruta chalepensis* flavonoid extracts on API 5L X52 steel in 1M HCL medium, *Environ. Eng. Manag. J.* 18 (2019) 2009–2021. <https://doi.org/10.30638/eemj.2019.191>.
- [120] G.G.P. De Souza, M.T.G. De Sampaio, A.B. Furtado, P.H.M. Buzzetti, C.J.B. Ramos, V.L. Teixeira, J.A.C. Velasco, R.N. Damasceno, E.A. Ponzio, Study of the efficiency of the algae *Prasiola crispa* extract as a corrosion inhibitor in HCl 1 mol L⁻¹, *Rev. Virtual Química.* 11 (2019) 1521–1529. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190106>.
- [121] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Electronic/atomic level fundamental theoretical evaluations combined with electrochemical/surface examinations of *Tamarindus indica* aqueous extract as a new green inhibitor for mild steel in acidic solution (HCl 1 M), *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 102 (2019) 349–377. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.05.006>.
- [122] A.A. Ganash, A.A. Baali, L.A. Alajlani, R.F. Alhrbi, E.K. Sukkar, Evaluation of Shazab extract as eco-friendly green corrosion inhibitor for 420 stainless steel in hydrochloric acid, *Mater. Res. Express.* 6 (2019) 096413. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab2de9>.
- [123] E. Ituen, V. Mkpenie, E. Dan, Surface protection of steel in oil well acidizing fluids using L-theanine-based corrosion inhibitor formulations: Experimental and theoretical evaluation, *Surfaces and Interfaces.* 16 (2019) 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.04.006>.
- [124] N. Hechiche, D. Boughrara, A. Kadri, N. Dahmani, N. Benbrahim, *Artemisia Herba Alba* Essential Oil as Green Corrosion Inhibitor for Aluminum in Hydrochloric Acid Solution, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 11 (2019) 1129–1147.
- [125] Q. Wang, B. Tan, H. Bao, Y. Xie, Y. Mou, P. Li, D. Chen, Y. Shi, X. Li, W. Yang, Evaluation of *Ficus tikoua* leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in HCl media, *Bioelectrochemistry.* 128 (2019) 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.03.001>.
- [126] N. Hassan, S.M. Ali, A. Ebrahim, H. El-Adawi, Performance evaluation and optimization of *Camellia sinensis* extract as green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium, *Mater. Res. Express.* 6 (2019) 0865c7. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab2376>.

- [127] S. Boudiba, K. Hanini, I. Selatnia, A. Saouane, S. Hioun, M. Benahmed, Experimental, theoretical and mathematical studies of *Echium italicum* L. extract as a corrosion inhibitor for carbon steel in acidic medium, *Mater. Res. Express*. 6 (2019) 086546. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab194f>.
- [128] C.M. Fernandes, T. da S.F. Fagundes, N.E. dos Santos, T.S. de M. Rocha, R. Garrett, R.M. Borges, G. Muricy, A.L. Valverde, E.A. Ponzio, *Ircinia strobilina* crude extract as corrosion inhibitor for mild steel in acid medium, *Electrochim. Acta*. 312 (2019) 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.04.148>.
- [129] K.R.G. Bacca, N.F. Lopes, J.B. Marcolino, F. dos Santos Grasel, E.M. da Costa, Performance of Quebracho extract as eco-friendly corrosion inhibitor for SAE 1010 steel in the oil field environment, *Mater. Corros.* 71 (2019) 155–165. <https://doi.org/10.1002/maco.201910963>.
- [130] P.R. Shrestha, H.B. Oli, B. Thapa, Y. Chaudhary, D.K. Gupta, A.K. Das, K.B. Nakarmi, S. Singh, N. Karki, A.P. Yadav, Bark extract of *Lantana camara* in 1M HCL as green corrosion inhibitor for mild steel, *Eng. J.* 23 (2019) 205–211. <https://doi.org/10.4186/ej.2019.23.4.205>.
- [131] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Detailed macro-/micro-scale exploration of the excellent active corrosion inhibition of a novel environmentally friendly green inhibitor for carbon steel in acidic environments, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 100 (2019) 239–261. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.04.002>.
- [132] A.D.R. de Faria Neto, A.P.N. de Souza, R.R. Passos, M.D.S. Pereira, L.A. Pocrifka, R.F.B. de Souza, E.D.C. Rios, Evaluation of *Paullinia cupana* as a green corrosion inhibitor for carbon steel utilizing gravimetric and electrochemical noise techniques, *Mater. Res. Express*. 6 (2019) 076522. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab13c0>.
- [133] M.T. Majd, S. Asaldoust, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Green method of carbon steel effective corrosion mitigation in 1 M HCl medium protected by *Primula vulgaris* flower aqueous extract via experimental, atomic-level MC/MD simulation and electronic-level DFT theoretical elucidation, *J. Mol. Liq.* 284 (2019) 658–674. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.037>.
- [134] P. Leena, N.H. Zeinul Hukuman, A.R. Biju, M. Jisha, Studies on methanolic extract of *Lepidagathis keralensis* as green corrosion inhibitor for mild steel in 1M HCL, *J. Electrochem. Sci. Technol.* 10 (2019) 231–243. <https://doi.org/10.5229/JECST.2019.10.2.231>.
- [135] N.I.N. Haris, S. Sobri, N. Kassim, Oil palm empty fruit bunch extract as green corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution: Central composite design optimization, *Mater. Corros.* 70 (2019) 1111–1119. <https://doi.org/10.1002/maco.201810653>.
- [136] R. Idouhli, Y. Koumya, M. Khadiri, A. Aityoub, A. Abouelfida, A. Benyaich, Inhibitory effect of

- Senecio anteuphorbium as green corrosion inhibitor for S300 steel, *Int. J. Ind. Chem.* 10 (2019) 133–143. <https://doi.org/10.1007/s40090-019-0179-2>.
- [137] G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, A. Dehghani, M. Ramezanzadeh, Novel cost-effective and high-performance green inhibitor based on aqueous Peganum harmala seed extract for mild steel corrosion in HCl solution: Detailed experimental and electronic/atomic level computational explorations, *J. Mol. Liq.* 283 (2019) 174–195. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.086>.
- [138] V.C. Anadebe, O.D. Onukwuli, M. Omotoma, N.A. Okafor, Experimental, theoretical modeling and optimization of inhibition efficiency of pigeon pea leaf extract as anti-corrosion agent of mild steel in acid environment, *Mater. Chem. Phys.* 233 (2019) 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.05.033>.
- [139] A.S. Fouda, M.M. Hegazi, A. El-Azaly, Henna extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 4668–4682. <https://doi.org/10.20964/2019.05.47>.
- [140] H. Derfouf, Y. Harek, L. Larabi, W.J. Basirun, M. Ladan, Corrosion inhibition activity of carbon steel in 1.0 M hydrochloric acid medium using Hammada scoparia extract: gravimetric and electrochemical study, *J. Adhes. Sci. Technol.* 33 (2019) 808–833. <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1562321>.
- [141] N.T. Hoai, P. Van Hien, N.S.H. Vu, D.L. Son, T. Van Man, M.D. Tri, N.D. Nam, An improved corrosion resistance of steel in hydrochloric acid solution using Hibiscus sabdariffa leaf extract, *Chem. Pap.* 73 (2019) 909–925. <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0649-6>.
- [142] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, A combined experimental and theoretical study of green corrosion inhibition of mild steel in HCl solution by aqueous Citrullus lanatus fruit (CLF) extract, *J. Mol. Liq.* 279 (2019) 603–624. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.02.010>.
- [143] N. Raghavendra, J. Ishwara Bhat, Application of green products for industrially important materials protection: An amusing anticorrosive behavior of tender arecanut husk (green color) extract at metal-test solution interface, *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 135 (2019) 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.021>.
- [144] A. Dehghani, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Ramezanzadeh, Potential of Borage flower aqueous extract as an environmentally sustainable corrosion inhibitor for acid corrosion of mild steel: Electrochemical and theoretical studies, *J. Mol. Liq.* 277 (2019) 895–911. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.008>.
- [145] A.D. Arulraj, J. Prabha, R. Deepa, B. Neppolian, V.S. Vasantha, Effect of components of solanum trilobatum-L extract as corrosion inhibitor for mild steel in acid and neutral medium,

Mater. Res. Express. 6 (2019) 036527. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaf267>.

- [146] M. Mobin, M. Basik, M. Shoeb, A novel organic-inorganic hybrid complex based on *Cissus quadrangularis* plant extract and zirconium acetate as a green inhibitor for mild steel in 1 M HCl solution, *Appl. Surf. Sci.* 469 (2019) 387–403. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.11.008>.
- [147] A. Bouoidina, F. El-Hajjaji, K. Emran, M.E. Belghiti, A. Elmelouky, M. Taleb, A. Abdellaoui, B. Hammouti, I.B. Obot, Towards Understanding the Anticorrosive Mechanism of Novel Surfactant Based on *Mentha pulegium* Oil as Eco-friendly Bio-source of Mild Steel in Acid Medium: a Combined DFT and Molecular Dynamics Investigation, *Chem. Res. Chinese Univ.* 35 (2019) 85–100. <https://doi.org/10.1007/s40242-019-8205-7>.
- [148] X. Wang, H. Jiang, D.-X. Zhang, L. Hou, W.-J. Zhou, *Solanum lasiocarpum* L. extract as green corrosion inhibitor for A3 steel in 1 M HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 1178–1196. <https://doi.org/10.20964/2019.02.06>.
- [149] M. Chevalier, M. Lebrini, F. Robert, S. Sutour, F. Tomi, C. Jama, F. Bentiss, C. Roos, Investigation of corrosion inhibition efficiency of Amazonian tree alkaloids extract for C38 steel in 1M hydrochloric media, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 1208–1223. <https://doi.org/10.20964/2019.02.38>.
- [150] N. Gharda, M. Galai, L. Saqalli, N. Habbadi, R. Ghailane, A. Souizi, M.E. Touhami, Y. Peres-Lucchese, Linseed oil as a novel eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel in 1 M HCl, *Surf. Rev. Lett.* 26 (2019) 1850148. <https://doi.org/10.1142/S0218625X18501482>.
- [151] N. Asadi, M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, Utilizing Lemon Balm extract as an effective green corrosion inhibitor for mild steel in 1M HCl solution: A detailed experimental, molecular dynamics, Monte Carlo and quantum mechanics study, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 95 (2019) 252–272. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.07.011>.
- [152] N. Raghavendra, J. Ishwara Bhat, An investigation of aluminum (Al-63400) corrosion inhibition in hydrochloric acid medium by semi-ripe arecanut husk extract: an eco-friendly suitable green inhibitor, *Euro-Mediterranean J. Environ. Integr.* 4 (2019) 8. <https://doi.org/10.1007/s41207-018-0094-5>.
- [153] R. Jeevitha, M.J. Judithaa, T.S. Selwyn, A.P. Srikanth, *Atalantia Monophylla* Acted as Eco-Friendly Inhibitor for Mild Steel in 1N HCl Media, *Orient. J. Chem.* 35 (2019) 1073–1079. <https://doi.org/10.13005/ojc/350321>.
- [154] S.A.F. Ramos, L.F. de Senna, D.C.B. do Lago, Evaluation of aqueous coffee husks extracts as a corrosion inhibitor of 1020 carbon steel in 1 mol L⁻¹ HCl solution, *Mater. Res.* 22 (2019) e20180839. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0839>.

- [155] P. Divya, S. Subhashini, A. Prithiba, R. Rajalakshmi, *Tithonia diversifolia* flower extract as green corrosion inhibitor for mild steel in acid medium, *Mater. Today Proc.* 18 (2019) 1581–1591. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.252>.
- [156] R. Thilgavathi, P. Sandhiya, A. Prithiba, R. Rajalakshmi, Application of *Ipomea staphylina* leaf as an eco-friendly biomass for the corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl, *Mater. Today Proc.* 18 (2019) 1633–1647. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.258>.
- [157] C.S. Okafor, V.C. Anadebe, O.D. Onukwuli, Experimental, Statistical Modelling and Molecular Dynamics Simulation Concept of *Sapium ellipticum* Leaf Extract as Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Acid Environment, *South African J. Chem.* 72 (2019) 164–175. <https://doi.org/10.17159/0379-4350/2019/v72a22>.
- [158] I.-M. Chung, K. Kalaiselvi, A. Sasireka, S.-H. Kim, M. Prabakaran, Anticorrosive property of *Spiraea Cantonensis* extract as an eco-friendly inhibitor on mild steel surface in acid medium, *J. Dispers. Sci. Technol.* 40 (2019) 1326–1337. <https://doi.org/10.1080/01932691.2018.1511435>.
- [159] A. Boukhraz, A. Chaouik, R. Salghi, H. Elhartiti, N. Saouide el Ayne, A. Zaher, M. Ouhssine, Inhibitive effect of *Thymus satureioides* essential oil as a green corrosion inhibitor for mild steel in an acidic medium, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 8 (2019) 291–305. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2019-8-2-11>.
- [160] T.M. de Oliveira, S.P. Cardoso, Evaluation of white tea as a potential corrosion inhibitor, *Rev. Matéria.* 24 (2019) e12294. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190001.0631>.
- [161] P. Dhaundiyal, S. Bashir, V. Sharma, A. Kumar, An investigation on mitigation of corrosion of mildsteel by *Origanum vulgare* in acidic medium, *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 33 (2019) 159–168. <https://doi.org/10.4314/bcse.v33i1.16>.
- [162] M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, Z. Sanaei, B. Ramezanzadeh, Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl solution by ethanolic extract of eco-friendly *Mangifera indica* (mango) leaves: Electrochemical, molecular dynamics, Monte Carlo and ab initio study, *Appl. Surf. Sci.* 463 (2019) 1058–1077. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.09.029>.
- [163] A. Salhi, I. Hamdani, A. Bouyanzer, N. Chahboun, H. Amhamdi, I. Warad, B. Hammouti, F. Bentiss, A. Zarrouk, Phytochemical Analysis, Antioxidant and Anticorrosive Activities of *Thymus Algeriensis* Extracts, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 10 (2018) 1587–1610.
- [164] M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, Z. Sanaei, B. Ramezanzadeh, Studying the *Urtica dioica* leaves extract inhibition effect on the mild steel corrosion in 1 M HCl solution: Complementary experimental, ab initio quantum mechanics, Monte Carlo and molecular dynamics studies, *J. Mol. Liq.* 272 (2018) 120–136. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.09.059>.

- [165] I.Y. Suleiman, S.A. Salihu, Characterizations of Plant Extract by AAS and GC–MS as Green Inhibitor for Mild Steel in 1.0 M HCl, Iran. J. Sci. Technol. Trans. A Sci. 42 (2018) 1977–1987. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0384-9>.
- [166] R.F.B. Cordeiro, A.J.S. Belati, D. Perrone, E. D’Elia, Coffee husk as corrosion inhibitor for mild steel in HCl media, Int. J. Electrochem. Sci. 13 (2018) 12188–12207. <https://doi.org/10.20964/2018.12.29>.
- [167] Z. Akounach, A. Al-Maofari, A. El-Yadini, S. Douche, M. Benmessaoud, B. Ouaki, M. Damej, S. El-Hajjaji, Inhibition of Mild Steel Corrosion in 1.0 M HCl by Water, Hexane and Ethanol Extracts of Pimpinella Anisum Plant, Anal. Bioanal. Electrochem. 10 (2018) 1506–1524.
- [168] O.O. Ogunleye, O.A. Eletta, A.O. Arinkoola, O.O. Agbede, Gravimetric and quantitative surface morphological studies of Mangifera indica peel extract as a corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl solution, Asia-Pacific J. Chem. Eng. 13 (2018) e2257. <https://doi.org/10.1002/apj.2257>.
- [169] S. Sair, A. Oushabi, K. Nehhale, Y. Abboud, O. Tanane, A. El-Bouari, Date palm waste extract as corrosion inhibitor for 304 stainless steel in 1 M HCl solution, Int. J. Electrochem. Sci. 13 (2018) 10642–10653. <https://doi.org/10.20964/2018.11.38>.
- [170] M.A. Asaad, M. Ismail, N.H.A. Khalid, G.F. Huseien, P.B. Raja, Elaeis guineensis leaves extracts as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid, J. Teknol. (Sciences Eng. 80 (2018) 53–59. <https://doi.org/10.11113/jt.v80.11191>.
- [171] A. Jmiai, B. El-Ibrahimi, A. Tara, M. Chadili, S. El-Issami, O. Jbara, A. Khallaayoun, L. Bazzi, Application of Zizyphus Lotuse - pulp of Jujube extract as green and promising corrosion inhibitor for copper in acidic medium, J. Mol. Liq. 268 (2018) 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.06.091>.
- [172] D.K. Verma, F. Khan, I. Bahadur, M. Salman, M.A. Quraishi, C. Verma, E.E. Ebenso, Inhibition performance of Glycine max, Cuscuta reflexa and Spirogyra extracts for mild steel dissolution in acidic medium: Density functional theory and experimental studies, Results Phys. 10 (2018) 665–674. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.06.003>.
- [173] P. Tiwari, M. Srivastava, R. Mishra, G. Ji, R. Prakash, Economic use of waste Musa paradisiaca peels for effective control of mild steel loss in aggressive acid solutions, J. Environ. Chem. Eng. 6 (2018) 4773–4783. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.07.016>.
- [174] M. Ali-Asaad, N.N. Sarbini, A. Sulaiman, M. Ismail, G.F. Huseien, Z. Abdul-Majid, P.B. Raja, Improved corrosion resistance of mild steel against acid activation: Impact of novel Elaeis guineensis and silver nanoparticles, J. Ind. Eng. Chem. 63 (2018) 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.02.010>.

- [175] A.E.A.S. Fouda, R.M.A. Shahba, A.E. El-Shenawy, T.J.A. Seyam, Evaluation of *Cleome Droserifolia* (Samwah) as green corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 7057–7075. <https://doi.org/10.20964/2018.03.54>.
- [176] D. Bouknana, B. Hammouti, S. Jodeh, M. Sbaa, H. Lgaz, Extracts of Olive Inflorescence Flower Pre-Anthesis, at Anthesis and Grain Pollen as Eco-Friendly Corrosion Inhibitor for Steel in 1M HCl Medium, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 10 (2018) 751–777.
- [177] L.L. Liao, S. Mo, H.Q. Luo, N.B. Li, Corrosion protection for mild steel by extract from the waste of lychee fruit in HCl solution: Experimental and theoretical studies, *J. Colloid Interface Sci.* 520 (2018) 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.02.071>.
- [178] G. Xie, L. Wei, Inhibitor effect of *Anthocleista djalensis* extract on the corrosion of concrete steel reinforcement, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 5311–5322. <https://doi.org/10.20964/2018.06.12>.
- [179] X. Wang, Y. Wang, Q. Wang, Y. Wan, X. Huang, C. Jing, *Viburnum Sargentii* Koehne fruit extract as corrosion inhibitor for mild steel in acidic solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 5228–5242. <https://doi.org/10.20964/2018.06.36>.
- [180] S. Kadapparambil, K. Yadav, M. Ramachandran, N. V. Selvam, *Tectona grandis* leaf extract as environmental friendly corrosion inhibitor for SS304 stainless steel in hydrochloric acid, *J. Sci. Ind. Res. (India)*. 77 (2018) 349–352.
- [181] H. El-Attari, A. Mirinioui, R. Fdil, A. Mouzdahir, K. Sraidi, H. Ait-Sir, M. Siniti, Green corrosion inhibitor: inhibitive action of aqueous extract of *Punica Granatum* for the corrosion of mild steel in 0.5 M H₂SO₄ and 1 M HCl solutions, *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.* 9 (2018) 905–919.
- [182] E.O. Nnabuk, F. Awe, Experimental and quantum chemical studies on ethanol extract of *Phyllanthus amarus* (EEPA) as a green corrosion inhibitor for aluminum in 1 M HCl, *Port. Electrochim. Acta.* 36 (2018) 231–247. <https://doi.org/10.4152/pea.201804231>.
- [183] Y. Qiang, S. Zhang, B. Tan, S. Chen, Evaluation of Ginkgo leaf extract as an eco-friendly corrosion inhibitor of X70 steel in HCl solution, *Corros. Sci.* 133 (2018) 6–16. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.01.008>.
- [184] J. Tang, H. Wang, X. Jiang, Z. Zhu, J. Xie, J. Tang, Y. Wang, M. Chamas, Y. Zhu, H. Tian, Electrochemical behavior of jasmine tea extract as corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 3625–3642. <https://doi.org/10.20964/2018.04.41>.
- [185] I.H. Ali, M.H.A. Suleiman, Effect of acid extract of leaves of *Juniperus procera* on corrosion

- inhibition of carbon steel in HCl solutions, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 3910–3922.
<https://doi.org/10.20964/2018.04.01>.
- [186] X.-L. Jiang, C. Lai, Z. Xiang, Y.-F. Yang, B.-L. Tan, Z.-Q. Long, L.-P. Liu, Y.-T. Gu, W.-J. Yang, X. Chen, Study on the extract of *Raphanus sativus* L as green corrosion inhibitor for Q235 steel in HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 3224–3234.
<https://doi.org/10.20964/2018.04.16>.
- [187] M. Srivastava, P. Tiwari, S.K. Srivastava, A. Kumar, G. Ji, R. Prakash, Low cost aqueous extract of *Pisum sativum* peels for inhibition of mild steel corrosion, *J. Mol. Liq.* 254 (2018) 357–368.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.137>.
- [188] H. Hassannejad, A. Nouri, Sunflower seed hull extract as a novel green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution, *J. Mol. Liq.* 254 (2018) 377–382.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.142>.
- [189] N. Raghavendra, Areca Plant Extracts as a Green Corrosion Inhibitor of Carbon Steel Metal in 3 M Hydrochloric Acid: Gasometric, Colorimetry and Atomic Absorption Spectroscopy Views, *J. Mol. Eng. Mater.* 6 (2018) 1850004. <https://doi.org/10.1142/s2251237318500041>.
- [190] L. Kadiri, M. Galai, M. Ouakki, Y. Essaadaoui, A. Ouass, M. Cherkaoui, E.-H. Rifi, A. Lebdiri, *Coriandrum Sativum*.L Seeds Extract as a Novel Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1.0 M Hydrochloric and 0.5 M Sulfuric Solutions, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 10 (2018) 249–268.
- [191] P.E. Alvarez, M.V. Fiori-Bimbi, A. Neske, S.A. Brandán, C.A. Gervasi, *Rollinia occidentalis* extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution, *J. Ind. Eng. Chem.* 58 (2018) 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.09.012>.
- [192] M. Krishnan, H. Subramanian, H.-U. Dahms, V. Sivanandham, P. Seeni, S. Gopalan, A. Mahalingam, A.J. Rathinam, Biogenic corrosion inhibitor on mild steel protection in concentrated HCl medium, *Sci. Rep.* 8 (2018) 2609–2625. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20718-1>.
- [193] X.-F. Gu, X.-F. Chang, C. Cheng, L. Zhang, Y.-M. Zhang, J. Zhang, G. Chen, Anti-corrosion and Anti-bacteria Property of Modified Pomegranate Peel Extract, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 322 (2018) 022004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/322/2/022004>.
- [194] S. Hadisaputra, A.A. Purwoko, I. Ilhamsyah, S. Hamdiani, D. Suhendra, N. Nuryono, B. Bundjali, A combined experimental and theoretical study of (E)-ethyl 3-(4-methoxyphenyl)acrylate as corrosion inhibitor of iron in 1 M HCl solutions, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 7 (2018) 633–647. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-4-10>.
- [195] E.A. Essien, D. Kavaz, E.B. Ituen, S.A. Umoren, Synthesis, characterization and anticorrosion property of olive leaves extract-titanium nanoparticles composite, *J. Adhes. Sci. Technol.* 32

- (2018) 1773–1794. <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1445800>.
- [196] S.A. Umoren, M.M. Solomon, I.B. Obot, R.K. Suleiman, Comparative studies on the corrosion inhibition efficacy of ethanolic extracts of date palm leaves and seeds on carbon steel corrosion in 15% HCl solution, *J. Adhes. Sci. Technol.* 32 (2018) 1934–1951. <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1455797>.
 - [197] N. Raghavendra, J.I. Bhat, Anti-corrosion properties of areca palm leaf extract on aluminium in 0.5 M HCl environment, *South African J. Chem.* 71 (2018) 30–38. <https://doi.org/10.17159/0379-4350/2018/v71a4>.
 - [198] M.A. Benghalia, C. Fares, A. Khadraoui, M. Hadj-Meliani, I.B. Obot, A. Sorrou, M. Dmytrakh, Z. Azari, Performance evaluation of a natural and synthetic compound as corrosion inhibitors of API 5L X52 steel in hydrochloric acid media, *Moroccan J. Chem.* 6 (2018) 51–61.
 - [199] M. Es'haghi, A. Amjad, S. Asghari, A. Lotfi, Studying effect of plantain extract behavior as an eco-friendly corrosion inhibitor on the mild steel in 1 M HCl solution, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 65 (2018) 310–316. <https://doi.org/10.1108/ACMM-10-2017-1857>.
 - [200] M.F. Azmi, J.W. Soedarsono, Study of corrosion resistance of pipeline API 5L X42 using green inhibitor bawang dayak (*Eleutherine americana* Merr.) in 1M HCl, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 105 (2018) 012061. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012061>.
 - [201] N.S. El-Gendy, A. Hamdy, B.A. Omran, Thermal and surface studies on the corrosion inhibition of petroleum pipeline by aqueous extract of *Allium cepa* skin under acidic condition, *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 40 (2018) 905–915. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1465488>.
 - [202] M. Prabakaran, S.-H. Kim, A. Sasireka, K. Kalaiselvi, I.-M. Chung, Polygonatum odoratum extract as an eco-friendly inhibitor for aluminum corrosion in acidic medium, *J. Adhes. Sci. Technol.* 32 (2018) 2054–2069. <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1462947>.
 - [203] A. Fidirli, Suryanto, M. Mahmood, Ginger extract as green corrosion inhibitor of mild steel in hydrochloric acid solution, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 290 (2018) 012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/290/1/012087>.
 - [204] A.B. Hamdan, Suryanto, F.I. Haider, Study on tea leaves extract as green corrosion inhibitor of mild steel in hydrochloric acid solution, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 290 (2018) 012086. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/290/1/012086>.
 - [205] A. Krishnan, S.M.A. Shibli, Optimization of an efficient, economic and eco-friendly inhibitor based on *Sesbania grandiflora* leaf extract for the mild steel corrosion in aggressive HCl environment, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 65 (2018) 210–216.

<https://doi.org/10.1108/ACMM-06-2017-1810>.

- [206] D.G. Ladha, N.K. Shah, Z. Ghelichkhah, I.B. Obot, F. Khorrami-Dehkharghani, J.Z. Yao, D.D. Macdonald, Experimental and computational evaluation of illicium verum as a novel eco-friendly corrosion inhibitor for aluminium, *Mater. Corros.* 69 (2018) 125–139. <https://doi.org/10.1002/maco.201709581>.
- [207] E. Ituen, I.S. Umoren, Solvent effect and adsorption study of mild steel protection from acid corrosion using eco-friendly formulations of Annatto extract, *Port. Electrochim. Acta.* 35 (2017) 27–37. <https://doi.org/10.4152/pea.201701027>.
- [208] H. Cang, Z. Tang, H. Li, L. Li, J. Shao, H. Zhang, Study on the synergistic effect of iodide ion with the extract of *Artemisia Halodendron* on the corrosion inhibition, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 10484–10492. <https://doi.org/10.20964/2017.11.24>.
- [209] M.A. Asaad, M. Ismail, P.B. Raja, N.H.A. Khalid, *Rhizophora Apiculata* As Eco-Friendly Inhibitor Against Mild Steel Corrosion in 1 M HCl, *Surf. Rev. Lett.* 24 (2017) 1850013. <https://doi.org/10.1142/S0218625X18500130>.
- [210] A.S. Fouda, M. Eissa, G.Y. Elewady, W.T. El-Behairy, Corrosion inhibition of low carbon steel in 1 M HCl solution using *Pulicaria undulata* plant extract, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 9212–9230. <https://doi.org/10.20964/2017.10.83>.
- [211] A. Ennouri, A. Lamiri, M. Essahli, Corrosion inhibition of aluminium in acidic media by different extracts of *Trigonella foenum-graecum* L seeds, *Port. Electrochim. Acta.* 35 (2017) 279–295. <https://doi.org/10.4152/pea.201705279>.
- [212] Pushpanjali, S.A. Rao, P. Rao, Corrosion inhibition and adsorption behavior of *Murraya koenigii* extract for corrosion control of aluminum in hydrochloric acid medium, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* 53 (2017) 475–485. <https://doi.org/10.3103/S1068375517050088>.
- [213] Y. Yetri, Sukatik, Green inhibitor for mild steel in acidic solution by using crude extract and polar extract of *Theobroma cacao* peels, *Orient. J. Chem.* 33 (2017) 2071–2079. <https://doi.org/10.13005/ojc/330456>.
- [214] L.L. Liao, S. Mo, H.Q. Luo, N.B. Li, Longan seed and peel as environmentally friendly corrosion inhibitor for mild steel in acid solution: Experimental and theoretical studies, *J. Colloid Interface Sci.* 499 (2017) 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.03.091>.
- [215] A.S. Fouda, S.M. Rashwan, A.E. Mohammed, A.M. Ibrahim, *Salicornia begelovi* as eco-friendly corrosion inhibitor for aluminum in hydrochloric acid solution, *Egypt. J. Chem.* 60 (2017) 491–505. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2017.698.1018>.
- [216] S. Kadapparambil, K. Yadav, M. Ramachandran, N.V. Selvam, Electrochemical investigation of

- the corrosion inhibition mechanism of *Tectona grandis* leaf extract for SS304 stainless steel in hydrochloric acid, *Corros. Rev.* 35 (2017) 111–121. <https://doi.org/10.1515/correv-2016-0074>.
- [217] E. Honarmand, H. Mostaanzadeh, M.H. Motaghedifard, M. Hadi, M. Khayadkashani, Inhibition effect of opuntia stem extract on corrosion of mild steel: a quantum computational assisted electrochemical study to determine the most effective components in inhibition, *Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces.* 53 (2017) 560–572. <https://doi.org/10.1134/S207020511703008X>.
- [218] I.Y. Suleiman, S.A. Salihu, O.S. Emokpaire, O.C. Ogheneme, L. Shuaibu, Evaluation of *Grewa venusta* (wild jute tree) extract as corrosion inhibitor for mild steel in acidic environment, *Port. Electrochim. Acta.* 35 (2017) 143–158. <https://doi.org/10.4152/pea.201703143>.
- [219] E. Ituen, O. Akaranta, A. James, S. Sun, Green and sustainable local biomaterials for oilfield chemicals: *Griffonia simplicifolia* extract as steel corrosion inhibitor in hydrochloric acid, *Sustain. Mater. Technol.* 11 (2017) 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.12.001>.
- [220] A.S. Fouda, A.S. Abousalem, G.Y. El-Ewady, Mitigation of corrosion of carbon steel in acidic solutions using an aqueous extract of *Tilia cordata* as green corrosion inhibitor, *Int. J. Ind. Chem.* 8 (2017) 61–73. <https://doi.org/10.1007/s40090-016-0102-z>.
- [221] A.Y. El-Etre, A.I. Ali, A novel green inhibitor for C-steel corrosion in 2.0 mol·L⁻¹ hydrochloric acid solution, *Chinese J. Chem. Eng.* 25 (2017) 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.08.017>.
- [222] M. Shahidi, G. Golestani, M.R. Gholamhosseinzadeh, *Mentha spicata* L. extract as a green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution, *Phys. Chem. Res.* 5 (2017) 293–307. <https://doi.org/10.22036/pcr.2017.41160>.
- [223] Y. Guo, M. Gao, H. Wang, Z. Liu, Tobacco rob extract as green corrosion inhibitor for N80 steel in HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 1401–1420. <https://doi.org/10.20964/2017.02.25>.
- [224] M.G. Sethuraman, V. Aishwarya, C. Kamal, T. Jebakumar-Immanuel-Edison, Studies on Ervatamine – The anticorrosive phytoconstituent of *Ervatamia coronaria*, *Arab. J. Chem.* 10 (2017) S522–S530. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.10.013>.
- [225] O.O. Joseph, O.S.I. Fayomi, O.O. Joseph, O.A. Adenigba, Effect of *Lecaniodiscus cupanioides* extract in corrosion inhibition of normalized and annealed mild steels in 0.5 M HCl, *Energy Procedia.* 119 (2017) 845–851. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.136>.
- [226] C.M. Anbarasi, G. Divya, A Green Approach to Corrosion Inhibition of Aluminium in Acid Medium Using Azwain Seed Extract, *Mater. Today Proc.* 4 (2017) 5190–5200. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.05.026>.

- [227] S. Sobri, N. Rahim, Inhibitive effect of Cocon Nucifera L. (coconut pulp) extract on mild steel acid corrosion, *J. Teknol.* 79 (2017) 9–14. <https://doi.org/10.11113/jt.v79.11320>.
- [228] A. Bouoidina, M. Chaouch, A. Abdellaoui, A. Lahkimi, B. Hammouti, F. El-Hajjaji, M. Taleb, A. Nahle, Essential oil of “*Foeniculum vulgare*”: Antioxidant and corrosion inhibitor on mild steel immersed in hydrochloric medium, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 64 (2017) 563–572. <https://doi.org/10.1108/ACMM-10-2016-1716>.
- [229] A. Pradityana, Sulistijono, N. Husodo, G.D. Winarto, S. Bangun, B. Sampurno, Modeling of adsorption isotherms on the addition of an inhibitor *Myrmecodia Pendans* extract with temperature variation, *AIP Conf. Proc.* 1840 (2017) 030002. <https://doi.org/10.1063/1.4982262>.
- [230] I.Y. Suleiman, R.S. Ochu, A.A. Rasheed, O.C. Ogheneme, O.S. Emokpaire, Adsorption and thermodynamics properties of *Acacia tortilis* as corrosion inhibitor of aluminum metal matrix composites in acidic medium, *Metall. Mater. Eng.* 23 (2017) 153–166. <https://doi.org/10.30544/281>.
- [231] L.S. Barreto, M.S. Tokumoto, I.C. Guedes, H.G. De Melo, F.D.R. Amado, V.R. Capelossi, Evaluation of the anticorrosion performance of peel garlic extract as corrosion inhibitor for astm 1020 carbon steel in acidic solution, *Rev. Mater.* 22 (2017) e11852. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170003.0186>.
- [232] A. Batah, A. Anejjar, M. Belkhaouda, L. Bammou, R. Salghi, L. Bazzi, B. Hammouti, A. Chetouani, Electrochemical and thermodynamic study of the inhibitory efficacy of methanol extracts of the rind and leaves of grapefruit plant on the corrosion of carbon steel in an acidic medium, *Moroccan J. Chem.* 5 (2017) 404–416.
- [233] A.M. Derna, C.M. Méndez, L.M. Gassa, A.E. Ares, Green Extract of Mate Tea as Corrosion Inhibitor of Copper and Aluminum, in: *Proc. 3rd Pan Am. Mater. Congr. Miner. Met. Mater. Ser.*, Buenos Aires, Argentina, 2017: pp. 671–680. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52132-9_14.
- [234] S. Kherraf, E. Zouaoui, M.S. Medjram, Corrosion inhibition of Monel 400 in hydrochloric solution by some green leaves, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 64 (2017) 347–354. <https://doi.org/10.1108/ACMM-05-2016-1673>.
- [235] A.I. Ali, Y.S. Mahrous, Corrosion inhibition of C-steel in acidic media from fruiting bodies of *Melia azedarach* L extract and a synergistic Ni²⁺ additive, *RSC Adv.* 7 (2017) 23687–23698. <https://doi.org/10.1039/c7ra00111h>.
- [236] H. Gerengi, I. Uygur, M. Solomon, M. Yildiz, H. Goksu, Evaluation of the inhibitive effect of *Diospyros kaki* (Persimmon) leaves extract on St37 steel corrosion in acid medium, *Sustain. Chem. Pharm.* 4 (2016) 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2016.10.003>.

- [237] S.M. Ali, H.A. Al-Lehaibi, Control of zinc corrosion in acidic media: Green fenugreek inhibitor, Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed. 26 (2016) 3034–3045. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64434-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64434-5).
- [238] N. Soltani, N. Tavakkoli, M. Ghasemi, Corrosion inhibition of low carbon steel by *Strychnos nux-vomica* extract as green corrosion inhibitor in hydrochloric acid solution, Int. J. Electrochem. Sci. 11 (2016) 8827–8847. <https://doi.org/10.20964/2016.10.22>.
- [239] E. Ituen, A. James, O. Akaranta, S. Sun, Eco-friendly corrosion inhibitor from *Pennisetum purpureum* biomass and synergistic intensifiers for mild steel, Chinese J. Chem. Eng. 24 (2016) 1442–1447. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.04.028>.
- [240] M.H. Hussin, M.J. Kassim, N.N. Razali, N.H. Dahon, D. Nasshorudin, The effect of *Tinospora crispa* extracts as a natural mild steel corrosion inhibitor in 1 M HCl solution, Arab. J. Chem. 9 (2016) S616–S624. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.07.002>.
- [241] H.L.Y. Sin, M. Umeda, S. Shironita, A.A. Rahim, B. Saad, *Aquilaria malaccensis* as a green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution, Int. J. Electrochem. Sci. 11 (2016) 7562–7575. <https://doi.org/10.20964/2016.09.54>.
- [242] J.K. Odusote, O.M. Ajayi, Corrosion inhibitive properties of extract of *Jatropha curcas* leaves on mild steel in hydrochloric acid environment, Iran. J. Mater. Sci. Eng. 13 (2016) 1–11. <https://doi.org/10.22068/ijmse.13.3.1>.
- [243] A.A.M. Hassan, H.T.M. Abdel-Fatah, Aqueous extract of *Salvadora Persica* as a novel green corrosion inhibitor for low-alloy steel in acidic media - part I, Int. J. Electrochem. Sci. 11 (2016) 6959–6975. <https://doi.org/10.20964/2016.08.48>.
- [244] N. Raghavendra, J. Ishwara-Bhat, Green approach to inhibition of corrosion of aluminum in 0.5 M HCl medium by tender arecanut seed extract: insight from gravimetric and electrochemical studies, Res. Chem. Intermed. 42 (2016) 6351–6372. <https://doi.org/10.1007/s11164-016-2467-1>.
- [245] M. Jokar, T. Shahrabi-Farahani, B. Ramezanzadeh, Electrochemical and surface characterizations of *morus alba pendula* leaves extract (MAPLE) as a green corrosion inhibitor for steel in 1M HCl, J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 63 (2016) 436–452. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.02.027>.
- [246] D.K. Verma, F. Khan, Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid using extract of *glycine max* leaves, Res. Chem. Intermed. 42 (2016) 3489–3506. <https://doi.org/10.1007/s11164-015-2227-7>.
- [247] M. Prabakaran, S.-H. Kim, V. Hemapriya, I.-M. Chung, *Tragia plukenetii* extract as an eco-friendly inhibitor for mild steel corrosion in HCl 1 M acidic medium, Res. Chem. Intermed. 42 (2016) 3703–3719. <https://doi.org/10.1007/s11164-015-2240-x>.

- [248] K.K. Anupama, K. Ramya, A. Joseph, Electrochemical and computational aspects of surface interaction and corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by *Phyllanthus amarus* leaf extract (PAE), *J. Mol. Liq.* 216 (2016) 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.01.019>.
- [249] K.K. Alaneme, S.J. Olusegun, O.T. Adelowo, Corrosion inhibition and adsorption mechanism studies of *Hunteria umbellata* seed husk extracts on mild steel immersed in acidic solutions, *Alexandria Eng. J.* 55 (2016) 673–681. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.10.009>.
- [250] S. Kumar, Eco-friendly corrosion inhibitors: Synergistic effect of ethanol extracts of *calotropis* for corrosion of mild steel in acid media using mass loss and thermometric technique at different temperatures, *Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces.* 52 (2016) 376–380. <https://doi.org/10.1134/S2070205116020167>.
- [251] K. Rose, B.-S. Kim, K. Rajagopal, S. Arumugam, K. Devarayan, Surface protection of steel in acid medium by *Tabernaemontana divaricata* extract: Physicochemical evidence for adsorption of inhibitor, *J. Mol. Liq.* 214 (2016) 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.12.008>.
- [252] A. Khadraoui, A. Khelifa, K. Hachama, R. Mehdaoui, *Thymus algeriensis* extract as a new eco-friendly corrosion inhibitor for 2024 aluminium alloy in 1 M HCl medium, *J. Mol. Liq.* 214 (2016) 293–297. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.12.064>.
- [253] G. Ji, P. Dwivedi, S. Sundaram, R. Prakash, Aqueous extract of *Argemone mexicana* roots for effective protection of mild steel in an HCl environment, *Res. Chem. Intermed.* 42 (2016) 439–459. <https://doi.org/10.1007/s11164-015-2029-y>.
- [254] C.A. Loto, R.T. Loto, O. Oshogbunu, Effect of *Allium Sativum* Extracts on the Corrosion and Inhibition of α -Brass in HCl Cleophas, *Moroccan J. Chem.* 4 (2016) 711–721.
- [255] P. Wongkhamprai, M. Jariyaboon, Effect of *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Wall.ex Nees extract on corrosion of low C-steel in 0.1 M HCl, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 63 (2016) 470–476. <https://doi.org/10.1108/ACMM-06-2014-1394>.
- [256] Q. Deng, Investigation of *Ligustrum lucidum* Ait. Seeds Extract as Green Corrosion Inhibitors and Bacteriostatic Agent, in: 5th Int. Conf. o Adv. Mater. Comput. Sci., Qingdao, China, 2016: pp. 978–983. <https://doi.org/10.2991/icamcs-16.2016.198>.
- [257] A. Nahlé, Y. El-Ouadi, A. Bouyanzer, L. Majidi, J. Paolini, J.M. Desjobert, J. Costa, N. Chahboun, A. Zarrouk, B. Hammouti, Evaluation of *Melissa officinalis* extract and oil as eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in acidic chloride solutions, *Orient. J. Chem.* 32 (2016) 1909–1921. <https://doi.org/10.13005/ojc/320417>.
- [258] Y. Abboud, O. Tanane, A. El-Bouari, R. Salghi, B. Hammouti, A. Chetouani, S. Jodeh, Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid solution using pomegranate leave extracts, *Corros.*

- Eng. Sci. Technol. 51 (2016) 557–565. <https://doi.org/10.1179/1743278215Y.0000000058>.
- [259] S.A. Umoren, Biomaterials for corrosion protection: evaluation of mustard seed extract as eco-friendly corrosion inhibitor for X60 steel in acid media, *J. Adhes. Sci. Technol.* 30 (2016) 1858–1879. <https://doi.org/10.1080/01694243.2016.1168339>.
- [260] D. Ladha, N. Shah, S. Thakur, M. Lone, P. Jha, Corrosion inhibition and adsorption behaviour of black pepper extract on pure aluminum in hydrochloric acid medium: A combined experimental and computational study, *Pigment Resin Technol.* 45 (2016) 106–118. <https://doi.org/10.1108/PRT-10-2014-0086>.
- [261] J.P. Flores-de los Ríos, M. Sánchez-Carrillo, C.G. Nava-Dino, J.G. Chacón-Nava, M.A. Escobedo-Bretado, H.A. Monreal-Romero, R.G. Bautista-Margulis, M.A. Neri-Flores, A. Martínez-Villafañe, Corrosion inhibition of mild steel using Agavoideae extract in 1M HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 10 (2015) 10210–10222.
- [262] N. El-Hamdani, R. Fdil, M. Tourabi, C. Jama, F. Bentiss, Alkaloids extract of *Retama monosperma* (L.) Boiss. seeds used as novel eco-friendly inhibitor for carbon steel corrosion in 1 M HCl solution: Electrochemical and surface studies, *Appl. Surf. Sci.* 357 (2015) 1294–1305. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.159>.
- [263] G.M. Al-Senani, S.I. Al-Saeedi, R. Almufarij, Green corrosion inhibitors for carbon steel by green leafy vegetables extracts in 1 M HCl, *Orient. J. Chem.* 31 (2015) 2077–2086. <https://doi.org/10.13005/ojc/310428>.
- [264] D. Bouknana, B. Hammouti, H. Serghini-Caid, S. Jodeh, A. Bouyanzer, A. Aouniti, I. Warad, Aqueous extracts of olive roots, stems, and leaves as eco-friendly corrosion inhibitor for steel in 1 M HCl medium, *Int. J. Ind. Chem.* 6 (2015) 233–245. <https://doi.org/10.1007/s40090-015-0042-z>.
- [265] C.O. Akalezi, E.E. Oguzie, C.E. Ogukwe, E.A. EJeLe, *Rothmannia longiflora* extract as corrosion inhibitor for mild steel in acidic media, *Int. J. Ind. Chem.* 6 (2015) 273–284. <https://doi.org/10.1007/s40090-015-0050-z>.
- [266] F. Kurniawan, K.A. Madurani, Electrochemical and optical microscopy study of red pepper seed oil corrosion inhibition by self-assembled monolayers (SAM) on 304 SS, *Prog. Org. Coatings.* 88 (2015) 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.07.010>.
- [267] A.Y.I. Rubaye, A.A. Abdulwahid, S.B. Al-Baghdadi, A.A. Al-Amiery, A.A.H. Kadhum, A.B. Mohamad, Cheery sticks plant extract as a green corrosion inhibitor complemented with LC-EIS/MS spectroscopy, *Int. J. Electrochem. Sci.* 10 (2015) 8200–8209.
- [268] Y. El-Ouadi, A. Bouyanzer, L. Majidi, J. Paolini, J.M. Desjobert, J. Costa, A. Chetouani, B. Hammouti, S. Jodeh, I. Warad, Y. Mabkhot, T. Ben Hadda, Evaluation of *Pelargonium* extract

- and oil as eco-friendly corrosion inhibitor for steel in acidic chloride solutions and pharmacological properties, *Res. Chem. Intermed.* 41 (2015) 7125–7149.
<https://doi.org/10.1007/s11164-014-1802-7>.
- [269] K. Shalabi, A.A. Nazeer, Adsorption and inhibitive effect of *Schinus terebinthifolius* extract as a green corrosion inhibitor for carbon steel in acidic solution, *Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces*. 51 (2015) 908–917. <https://doi.org/10.1134/S2070205115050226>.
- [270] Q. Hu, Y. Qiu, G. Zhang, X. Guo, *Capsella bursa-pastoris* extract as an eco-friendly inhibitor on the corrosion of Q235 carbon steels in 1 mol·L⁻¹ hydrochloric acid, *Chinese J. Chem. Eng.* 23 (2015) 1408–1415. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2015.05.002>.
- [271] N.A. Odewunmi, S.A. Umoren, Z.M. Gasem, S.A. Ganiyu, Q. Muhammad, L-Citrulline: An active corrosion inhibitor component of watermelon rind extract for mild steel in HCl medium, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 51 (2015) 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.01.012>.
- [272] P. Muthukrishnan, P. Prakash, M. Ilayaraja, B. Jeyaprabha, K. Shankar, Effect of Acidified *Feronia elephantum* Leaf Extract on the Corrosion Behavior of Mild Steel, *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.* 46B (2015) 1448–1460. <https://doi.org/10.1007/s11663-015-0322-1>.
- [273] A. Singh, M.A. Quraishi, The extract of Jamun (*Syzygium cumini*) seed as green corrosion inhibitor for acid media, *Res. Chem. Intermed.* 41 (2015) 2901–2914.
<https://doi.org/10.1007/s11164-013-1398-3>.
- [274] S.A. Umoren, I.B. Obot, Z.M. Gasem, Adsorption and corrosion inhibition characteristics of strawberry fruit extract at steel/acids interfaces: experimental and theoretical approaches, *Ionics (Kiel)*. 21 (2015) 1171–1186. <https://doi.org/10.1007/s11581-014-1280-3>.
- [275] N.A. Odewunmi, S.A. Umoren, Z.M. Gasem, Watermelon waste products as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution, *J. Environ. Chem. Eng.* 3 (2015) 286–296.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.10.014>.
- [276] M.A. Deyab, Egyptian licorice extract as a green corrosion inhibitor for copper in hydrochloric acid solution, *J. Ind. Eng. Chem.* 22 (2015) 384–389. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.07.036>.
- [277] A.M. Alsabagh, M.A. Migahed, M. Abdelraouf, E.A. Khamis, Utilization of green tea as environmentally friendly corrosion inhibitor for carbon steel in acidic media, *Int. J. Electrochem. Sci.* 10 (2015) 1855–1872.
- [278] M. Akin, S. Nalbantoglu, O. Cuhadar, D. Uzun, N. Saki, *Juglans regia* L. extract as green inhibitor for stainless steel and aluminium in acidic media, *Res. Chem. Intermed.* 41 (2015) 899–912. <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1241-x>.

- [279] D.G. Ladha, P.M. Wadhwani, M.Y. Lone, P.C. Jha, N.K. Shah, Evaluation of fennel seed extract as a green corrosion inhibitor for pure aluminum in hydrochloric acid: An experimental and computational approach, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 7 (2015) 59–74.
- [280] N.A. Odewunmi, S.A. Umoren, Z.M. Gasem, Utilization of watermelon rind extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media, *J. Ind. Eng. Chem.* 21 (2015) 239–247.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.02.030>.
- [281] J.P. Flores-de los Ríos, M. Sánchez-Carrillo, C.G. Nava-Dino, J.G. Chacón-Nava, J.G. González-Rodríguez, E. Huape-Padilla, M.A. Neri-Flores, A. Martínez-Villafañe, Opuntia ficus-indica extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in 1 M HCl solution, *J. Spectrosc.* 2015 (2015) 714692. <https://doi.org/10.1155/2015/714692>.
- [282] L. Li, W. Xu, J. Lei, J. Wang, J. He, N. Li, F. Pan, Experimental and theoretical investigations of Michelia alba leaves extract as a green highly-effective corrosion inhibitor for different steel materials in acidic solution, *RSC Adv.* 5 (2015) 93724–93732.
<https://doi.org/10.1039/c5ra19088f>.
- [283] S.A. Umoren, Z.M. Gasem, I.B. Obot, Date palm (Phoenix dactylifera) leaf extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in 1M hydrochloric acid solution, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 62 (2015) 19–28. <https://doi.org/10.1108/ACMM-10-2013-1302>.
- [284] S. Umoren, I.B. Obot, Z. Gasem, N.A. Odewunmi, Experimental and Theoretical Studies of Red Apple Fruit Extract as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in HCl Solution, *J. Dispers. Sci. Technol.* 36 (2015) 789–802. <https://doi.org/10.1080/01932691.2014.922887>.
- [285] N. Soltani, M. Khayat Kashani, Gundelia tournefortii as a green corrosion inhibitor for mild steel in HCl and H₂SO₄ solutions, *Int. J. Electrochem. Sci.* 10 (2015) 46–62.
- [286] M. Shabani-Nooshabadi, F.S. Hoseiny, Y. Jafari, Green Approach to Corrosion Inhibition of Copper by the Extract of Calligonum comosum in Strong Acidic Medium, *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.* 46A (2015) 293–299. <https://doi.org/10.1007/s11661-014-2634-1>.
- [287] G. Ji, S. Anjum, S. Sundaram, R. Prakash, Musa paradisica peel extract as green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution, *Corros. Sci.* 90 (2015) 107–117.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.10.002>.
- [288] H. Ashassi-Sorkhabi, S. Mirzaee, T. Rostamikia, R. Bagheri, Pomegranate (Punica granatum) Peel Extract as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution, *Int. J. Corros.* 2015 (2015) 197587. <https://doi.org/10.1155/2015/197587>.
- [289] S. Muthumanickam, B. Jeyaprabha, R. Karthik, A. Elangovan, P. Prakash, Adsorption and corrosion inhibiting behavior of Passiflora foetida leaf extract on mild steel corrosion, *Int. J.*

- Corros. Scale Inhib. 4 (2015) 365–381. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2015-4-4-6>.
- [290] H.Z. Alkhathlan, M. Khan, M.M.S. Abdullah, A.M. Almayouf, A.Y. Badjah-Hadj-Ahmed, Z.A. Alothman, A.A. Mousa, Anticorrosive assay-guided isolation of active phytoconstituents from *Anthemis pseudocotula* extracts and a detailed study of their effects on the corrosion of mild steel in acidic media, RSC Adv. 5 (2015) 54283–54292. <https://doi.org/10.1039/c5ra09154c>.
- [291] J.C. da Rocha, J.A. da C.P. Gomes, E. D’Elia, Aqueous extracts of mango and orange peel as green inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solution, Mater. Res. 17 (2014) 1581–1587. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.285014>.
- [292] V. Rajeswari, D. Kesavan, M. Gopiraman, P. Viswanathamurthi, K. Poonkuzhali, T. Palvannan, Corrosion inhibition of *Eleusine aegyptiaca* and *Croton rottleri* leaf extracts on cast iron surface in 1 M HCl medium, Appl. Surf. Sci. 314 (2014) 537–545. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.07.017>.
- [293] N. Soltani, N. Tavakkoli, M. Khayat-Kashani, A. Mosavizadeh, E.E. Oguzie, M.R. Jalali, *Silybum marianum* extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 1.0 M HCl, J. Ind. Eng. Chem. 20 (2014) 3217–3227. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.12.002>.
- [294] A.S. Fouda, S.H. Etaiw, W. Elnggar, Punica plant extract as green corrosion inhibitor for C-steel in hydrochloric acid solutions, Int. J. Electrochem. Sci. 9 (2014) 4866–4883.
- [295] P. Muthukrishnan, K. Saravana-Kumar, B. Jeyaprabha, P. Prakash, Anticorrosive activity of *Kigelia pinnata* leaves extract on mild steel in acidic media, Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci. 45A (2014) 4510–4524. <https://doi.org/10.1007/s11661-014-2366-2>.
- [296] A.S. Fouda, S.M. Rashwan, H.A. Abo-Mosallam, Fennel seed extract as green corrosion inhibitor for 304 stainless steel in hydrochloric acid solutions, Desalin. Water Treat. 52 (2014) 5175–5186. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.806223>.
- [297] M. Dekmouche, M. Saidi, M. Hadjadj, Z. Ghiaba, M. Yousfi, Green approach to corrosion inhibition by ethyl acetate extract from *Pistacia atlantica* gals in hydrochloric acid solution, Int. J. Electrochem. Sci. 9 (2014) 3969–3978.
- [298] K. Shalabi, A.S. Fouda, G.Y. Elewady, A. El-Askalany, Adsorption and inhibitive properties of *Phoenix dactylifera* L. extract as a green inhibitor for aluminum and aluminum-silicon alloy in HCl, Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces. 50 (2014) 420–431. <https://doi.org/10.1134/S2070205114030174>.
- [299] C. Loganayagi, C. Kamal, M.G. Sethuraman, Opuntiol: An active principle of *Opuntia elatior* as an eco-friendly inhibitor of corrosion of mild steel in acid medium, ACS Sustain. Chem. Eng. 2 (2014) 606–613. <https://doi.org/10.1021/sc4003642>.

- [300] A. Khadraoui, A. Khelifa, H. Hamitouche, R. Mehdaoui, Inhibitive effect by extract of *Mentha rotundifolia* leaves on the corrosion of steel in 1 M HCl solution, *Res. Chem. Intermed.* 40 (2014) 961–972. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-1014-y>.
- [301] L.Y.S. Helen, A.A. Rahim, B. Saad, M.I. Saleh, P. Bothi-Raja, *Aquilaria crassna* leaves extracts - A green corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl medium, *Int. J. Electrochem. Sci.* 9 (2014) 830–846.
- [302] H.Z. Alkhatlan, M. Khan, M.M.S. Abdullah, A.M. Al-Mayouf, A.A. Mousa, Z.A.M. Al-Othman, *Launaea nudicaulis* as a source of new and efficient green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium: A comparative study of two solvent extracts, *Int. J. Electrochem. Sci.* 9 (2014) 870–889.
- [303] N.A. Abu-Talib, S. Zakaria, C.C. Hua, N.K. Othman, Tannin bark *Melaleuca cajuputi* powell (gelam) as green corrosion inhibitor of mild steel, in: *AIP Conf. Proc.*, 2014: pp. 171–177. <https://doi.org/10.1063/1.4895191>.
- [304] M. Nasibi, M. Mohammady, A. Ashrafi, A.A.D. Khalaji, M. Moshrefifar, E. Rafiee, Nanosized scale roughness and corrosion protection of mild steel in hydrochloric acid solution and in the presence of Turmeric (*Curcuma longa*) extract as a green corrosion inhibitor: FTIR, polarization, EIS, SEM, EDS, AFM studies, and neural network model, *J. Adhes. Sci. Technol.* 28 (2014) 2001–2015. <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.941053>.
- [305] A. Zaabar, R. Aitout, L. Makhoulfi, K. Belhamel, B. Saidani, Inhibition of acid corrosion of mild steel by aqueous nettle extracts, *Pigment Resin Technol.* 43 (2014) 127–138. <https://doi.org/10.1108/PRT-11-2012-0078>.
- [306] A. Nahlé, I. Almaidoor, I. Abdel-Rahman, UAE *Rhazya stricta* Decne extract as a corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 61 (2014) 261–266. <https://doi.org/10.1108/ACMM-04-2013-1252>.
- [307] Z.V.P. Murthy, K. Vijayaragavan, Mild steel corrosion inhibition by acid extract of leaves of *Hibiscus sabdariffa* as a green corrosion inhibitor and sorption behavior, *Green Chem. Lett. Rev.* 7 (2014) 209–219. <https://doi.org/10.1080/17518253.2014.924592>.
- [308] A. Khadraoui, A. Khelifa, Ethanolic extract of *Ruta chalepensis* as an eco-friendly inhibitor of acid corrosion of steel, *Res. Chem. Intermed.* 39 (2013) 3937–3948. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-0910-5>.
- [309] S.A. Umoren, Z.M. Gasem, I.B. Obot, Natural products for material protection: Inhibition of mild steel corrosion by date palm seed extracts in acidic media, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52 (2013) 14855–14865. <https://doi.org/10.1021/ie401737u>.

- [310] A. El-Bribri, M. Tabyaoui, B. Tabyaoui, H. El-Attari, F. Bentiss, The use of *Euphorbia falcata* extract as eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel in hydrochloric acid solution, *Mater. Chem. Phys.* 141 (2013) 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2013.05.006>.
- [311] G. Ji, P. Dwivedi, S. Sundaram, R. Prakash, Inhibitive effect of *Chlorophytum borivilianum* root extract on mild steel corrosion in HCl and H₂SO₄ solutions, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52 (2013) 10673–10681. <https://doi.org/10.1021/ie4008387>.
- [312] P.B. Raja, M. Fadaeinasab, A.K. Qureshi, A.A. Rahim, H. Osman, M. Litaudon, K. Awang, Evaluation of green corrosion inhibition by alkaloid extracts of *Ochrosia oppositifolia* and isoreserpiline against mild steel in 1 M HCl medium, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52 (2013) 10582–10593. <https://doi.org/10.1021/ie401387s>.
- [313] M. Larif, A. Elmidaoui, A. Zarrouk, H. Zarrok, R. Salghi, B. Hammouti, H. Oudda, F. Bentiss, An investigation of carbon steel corrosion inhibition in hydrochloric acid medium by an environmentally friendly green inhibitor, *Res. Chem. Intermed.* 39 (2013) 2663–2677. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-0788-2>.
- [314] J. Huang, H. Cang, Q. Liu, J. Shao, Environment friendly inhibitor for mild steel by *Artemisia halodendron*, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 8592–8602.
- [315] R.G. Inzunza, B.V. Salas, M.S. Wiener, M.C. Beltran, R.Z. Koytchev, M.S. Stilianova, R.R. Irigoyen, L.V. Osuna, J.T. Gaynor, Aqueous extract of Creosote bush (*Larrea tridentata*) leaves as green inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 6433–6448.
- [316] B. Senhaji, D. Ben-Hmamou, R. Salghi, A. Zarrouk, B. Chebli, H. Zarrok, I. Warad, B. Hammouti, S.S. Al-Deyab, *Asteriscus imbricatus* extracts: Antifungal activity and anticorrosion inhibition, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 6033–6046.
- [317] P. Sakunthala, S.S. Vivekananthan, M. Gopiraman, N. Sulochana, A.R. Vincent, Spectroscopic investigations of physicochemical interactions on mild steel in an acidic medium by environmentally friendly green inhibitors, *J. Surfactants Deterg.* 16 (2013) 251–263. <https://doi.org/10.1007/s11743-012-1405-5>.
- [318] R. Abdollahi, S.R. Shadizadeh, Experimental Investigation of Side Effect of Henna Extract as a New and Ecofriendly Corrosion Inhibitor on Acid Injectivity of Calcareous Sandstone, *Transp. Porous Media.* 97 (2013) 105–118. <https://doi.org/10.1007/s11242-012-0113-y>.
- [319] L. Afia, R. Salghi, A. Zarrouk, H. Zarrok, E.-H. Bazzi, B. Hammouti, M. Zougagh, Comparative study of corrosion inhibition on mild steel in HCl medium by three green compounds: *Argania spinosa* press cake, kernels and hulls extracts, *Trans. Indian Inst. Met.* 66 (2013) 43–49. <https://doi.org/10.1007/s12666-012-0168-z>.

- [320] P.M. Krishnegowda, V.T. Venkatesha, P.K.M. Krishnegowda, S.B. Shivayogiraju, *Acalypha torta* leaf extract as green corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52 (2013) 722–728. <https://doi.org/10.1021/ie3018862>.
- [321] A. Singh, V.K. Singh, M.A. Quraishi, Inhibition of Mild Steel Corrosion in HCl Solution Using Pipali (*Piper longum*) Fruit Extract, *Arab. J. Sci. Eng.* 38 (2013) 85–97. <https://doi.org/10.1007/s13369-012-0409-9>.
- [322] Y. Abboud, A. Chagraoui, O. Tanane, A. El-Bouari, H. Hannache, *Punica granatum* leave extract as green corrosion inhibitor for mild steel in Hydrochloric acid, in: *MATEC Web Conf.*, Paris, France, 2013: p. 04029. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20130504029>.
- [323] M. Nasibi, D. Zaarei, G. Rashed, E. Ghasemi, Chamomile (*Matricaria recutita*) extract as a corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution, *Chem. Eng. Commun.* 200 (2013) 367–378. <https://doi.org/10.1080/00986445.2012.709475>.
- [324] A. Singh, M.A. Quraishi, E.E. Ebenso, Application of *Butea monosperma* (Palasha) leaves extract as green corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution: A theoretical and electrochemical approach, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 12545–12557.
- [325] T. Ibrahim, H. Alayan, Y. Al-Mowaqet, The effect of Thyme leaves extract on corrosion of mild steel in HCl, *Prog. Org. Coatings.* 75 (2012) 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.06.009>.
- [326] G. Ji, S.K. Shukla, P. Dwivedi, S. Sundaram, E.E. Ebenso, R. Prakash, *Parthenium hysterophorus* plant extract as an efficient green corrosion inhibitor for mild steel in acidic environment, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 9933–9945.
- [327] L. Afia, R. Salghi, E.-H. Bazzi, A. Zarrouk, B. Hammouti, M. Bouri, H. Zarrouk, L. Bazzi, L. Bammou, Argan hulls extract: Green inhibitor of mild steel corrosion in 1 M HCl solution, *Res. Chem. Intermed.* 38 (2012) 1707–1717. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-0496-y>.
- [328] L. Bammou, R. Salghi, A. Zarrouk, H. Zarrok, S.S. Al-Deyab, B. Hammouti, M. Zougagh, M. Errami, Inhibition effect of natural junipers extract towards steel corrosion in HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 8974–8987.
- [329] N. Soltani, N. Tavakkoli, M. Khayat Kashani, M.R. Jalali, A. Mosavizade, Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution by the extract of *Salvia officinalis* leaves, *Corros. Sci.* 62 (2012) 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.05.003>.
- [330] E.E. Oguzie, C.B. Adindu, C.K. Enenebeaku, C.E. Ogukwe, M.A. Chidiebere, K.L. Oguzie, Natural products for materials protection: Mechanism of corrosion inhibition of mild steel by acid extracts of *Piper guineense*, *J. Phys. Chem. C.* 116 (2012) 13603–13615.

<https://doi.org/10.1021/jp300791s>.

- [331] S. Nofrizal, A.A. Rahim, B. Saad, P. Bothi Raja, A.M. Shah, S. Yahya, Elucidation of the corrosion inhibition of mild steel in 1.0 M HCl by catechin monomers from commercial green tea extracts, *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.* 43A (2012) 1382–1393.
<https://doi.org/10.1007/s11661-011-1030-3>.
- [332] M. Dahmani, S.S. Al-Deyab, A. Et-Touhami, B. Hammouti, A. Bouyanzer, R. Salghi, A. El-Mejdoubi, Investigation of piperanine as HCl ecofriendly corrosion inhibitors for C38 steel, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 2513–2522.
- [333] D. Ben-Hmamou, R. Salghi, L. Bazzi, B. Hammouti, S.S. Al-Deyab, L. Bammou, L. Bazzi, A. Bouyanzer, Prickly pear seed oil extract: A novel green inhibitor for mild steel corrosion in 1 M HCl Solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 1303–1318.
- [334] L. Afia, R. Salghi, L. Bammou, L. Bazzi, B. Hammouti, L. Bazzi, Application of Argan plant extract as green corrosion inhibitor for steel in 1 mol/L HCl, *Acta Metall. Sin. (English Lett.* 25 (2012) 10–18. <https://doi.org/10.11890/1006-7191-121-10>.
- [335] M.A. Chidiebere, C.E. Ogukwe, K.L. Oguzie, C.N. Eneh, E.E. Oguzie, Corrosion inhibition and adsorption behavior of Punica granatum extract on mild steel in acidic environments: Experimental and theoretical studies, *Ind. Eng. Chem. Res.* 51 (2012) 668–677.
<https://doi.org/10.1021/ie201941f>.
- [336] H. Gerengi, H.I. Sahin, Schinopsis lorentzii Extract As a Green Corrosion Inhibitor for Low Carbon Steel in 1 M HCl Solution, *Ind. Eng. Chem. Res.* 51 (2012) 780–787.
<https://doi.org/10.1021/ie201776q>.
- [337] M. Behpour, S.M. Ghoreishi, M. Khayatkashani, N. Soltani, Green approach to corrosion inhibition of mild steel in two acidic solutions by the extract of Punica granatum peel and main constituents, *Mater. Chem. Phys.* 131 (2012) 621–633.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.10.027>.
- [338] A. Singh, I. Ahamad, D.K. Yadav, V.K. Singh, M.A. Quraishi, The effect of environmentally benign fruit extract of Shahjan (*Moringa oleifera*) on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution, *Chem. Eng. Commun.* 199 (2012) 63–77.
<https://doi.org/10.1080/00986445.2011.570390>.
- [339] M. Gopiraman, P. Sakunthala, D. Kesavan, V. Alexramani, I.S. Kim, N. Sulochana, An investigation of mild carbon steel corrosion inhibition in hydrochloric acid medium by environment friendly green inhibitors, *J. Coatings Technol. Res.* 9 (2012) 15–26.
<https://doi.org/10.1007/s11998-011-9374-6>.

- [340] S.A. Umoren, U.M. Eduok, A.U. Israel, I.B. Obot, M.M. Solomon, Coconut coir dust extract: A novel eco-friendly corrosion inhibitor for Al in HCl solutions, *Green Chem. Lett. Rev.* 5 (2012) 303–313. <https://doi.org/10.1080/17518253.2011.625980>.
- [341] T.H. Ibrahim, Y. Chehade, M.A. Zour, Corrosion inhibition of mild steel using potato peel extract in 2M HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 6 (2011) 6542–6556.
- [342] T. Ibrahim, M. Habbab, Corrosion inhibition of mild steel in 2M HCl using aqueous extract of eggplant peel, *Int. J. Electrochem. Sci.* 6 (2011) 5357–5371.
- [343] N.O. Eddy, F.E. Awe, A.A. Siaka, L. Magaji, E.E. Ebenso, Chemical information from GC-MS studies of ethanol extract of *Andrographis paniculata* and their corrosion inhibition potentials on mild steel in HCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 6 (2011) 4316–4328.
- [344] K.P.V. Kumar, M.S.N. Pillai, G.R. Thusnavis, Green corrosion inhibitor from seed extract of *Areca catechu* for mild steel in hydrochloric acid medium, *J. Mater. Sci.* 46 (2011) 5208–5215. <https://doi.org/10.1007/s10853-011-5457-0>.
- [345] V.V. Torres, R.S. Amado, C.F. de Sá, T.L. Fernandez, C.A. da S. Riehl, A.G. Torres, E. D'Elia, Inhibitory action of aqueous coffee ground extracts on the corrosion of carbon steel in HCl solution, *Corros. Sci.* 53 (2011) 2385–2392. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.03.021>.
- [346] W.A.W. Elyn-Amira, A.A. Rahim, H. Osman, K. Awang, P. Bothi-Raja, Corrosion inhibition of mild steel in 1 M HCl solution by *Xylopia ferruginea* leaves from different extract and partitions, *Int. J. Electrochem. Sci.* 6 (2011) 2998–3016.
- [347] A. Lecante, F. Robert, P.A. Blandinires, C. Roos, Anti-corrosive properties of *S. tinctoria* and *G. ouregou* alkaloid extracts on low carbon steel, *Curr. Appl. Phys.* 11 (2011) 714–724. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2010.11.038>.
- [348] M.H. Hussin, M.J. Kassim, The corrosion inhibition and adsorption behavior of *Uncaria gambir* extract on mild steel in 1 M HCl, *Mater. Chem. Phys.* 125 (2011) 461–468. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.10.032>.
- [349] L. Dong, L. Yuanhua, D. Yigang, Z. Dezhi, Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid solution by rice bran extracts, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 58 (2011) 205–210. <https://doi.org/10.1108/00035591111148920>.
- [350] K.S. Beenakumari, Inhibitory effects of *Murraya koenigii* (curry leaf) leaf extract on the corrosion of mild steel in 1M HCl, *Green Chem. Lett. Rev.* 4 (2011) 117–120. <https://doi.org/10.1080/17518253.2010.514866>.
- [351] A.M. Shah, A.A. Rahim, S. Yahya, P.B. Raja, S.A. Hamid, Acid corrosion inhibition of copper by mangrove tannin, *Pigment Resin Technol.* 40 (2011) 118–122.

<https://doi.org/10.1108/03699421111113783>.

- [352] O.K. Abiola, E.M. Odin, D.N. Olowoyo, T.A. Adeloye, Gossipium hirsutum L. extract as green corrosion inhibitor for aluminum in HCl solution, *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 25 (2011) 475–480. <https://doi.org/10.4314/bcse.v25i3.68612>.
- [353] E. de B. Policarpi, A. Spinelli, Application of Hymenaea stigonocarpa fruit shell extract as eco-friendly corrosion inhibitor for steel in sulfuric acid, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 116 (2020) 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.10.024>.
- [354] N. Karki, S. Neupane, Y. Chaudhary, D.K. Gupta, A.P. Yadav, Berberis Aristata: A Highly Efficient and Thermally Stable Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Medium, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 12 (2020) 970–988.
- [355] I.M. Chung, V. Hemapriya, P. Kanchana, N. Arunadevi, S. Chitra, S.H. Kim, M. Prabakaran, Active-polyphenolic-compounds-rich green inhibitor for the surface protection of low carbon steel in acidic medium, *Surf. Rev. Lett.* 27 (2020) 1950154. <https://doi.org/10.1142/S0218625X19501543>.
- [356] F.M. Mahgoub, A. Hefnawy, E. Hameed, Novel Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Sulfuric Acid, *Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces.* 56 (2020) 450–458. <https://doi.org/10.1134/S2070205120020318>.
- [357] R. Anitha, C.B. Nusrath Unnisa, V. Hemapriya, S. Mohana Roopan, S. Chitra, I.M. Chung, S.H. Kim, P. Mayakrishnan, Anti-corrosive potential of Cyperus rotundus as a viable corrosion inhibitor for mild steel in sulphuric acid, *Pigment Resin Technol.* 49 (2020) 295–304. <https://doi.org/10.1108/PRT-11-2019-0101>.
- [358] A.M. Abdel-Gaber, H.T. Rahal, F.T. Beqai, Eucalyptus leaf extract as a eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in sulfuric and phosphoric acid solutions, *Int. J. Ind. Chem.* 11 (2020) 123–132. <https://doi.org/10.1007/s40090-020-00207-z>.
- [359] A. Saxena, K.K. Thakur, N. Bhardwaj, Electrochemical studies and surface examination of low carbon steel by applying the extract of Musa acuminata, *Surfaces and Interfaces.* 18 (2020) 100436. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100436>.
- [360] O.D. Olakolegan, S.S. Owioye, E.A. Oladimeji, O.T. Sanya, Green synthesis of Terminalia Glaucescens Planch (Udi plant roots) extracts as green inhibitor for aluminum (6063) alloy in acidic and marine environment, *J. King Saud Univ. - Sci.* 32 (2020) 1278–1285. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.11.010>.
- [361] I.M. Chung, R. Malathy, S.H. Kim, K. Kalaiselvi, M. Prabakaran, M. Gopiraman, Ecofriendly green inhibitor from Hemerocallis fulva against aluminum corrosion in sulphuric acid medium, *J.*

- Adhes. Sci. Technol. 34 (2020) 1483–1506. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1712770>.
- [362] B.D. Seshian, B.R. Pandian, U. Durai, Adina Cordifolia as a corrosion inhibitor – a green approach against mild steel corrosion in 0.5M sulphuric acid medium, Pigment Resin Technol. 49 (2020) 63–70. <https://doi.org/10.1108/PRT-01-2019-0004>.
- [363] N.C. Tampu, R.I. Tampu, O.-I. Patriciu, B.A. Chirita, L. Gavrilă, Evaluation of the corrosion inhibition potential of raphanus sativus and spinacia oleracea extracts part II: mild steel corrosion inhibition by Raphanus sativus and Spinacia oleracea extracts as green corrosion inhibitors, Sci. Study Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind. 21 (2020) 435–444.
- [364] R.T. Loto, C.A. Loto, Inhibition effect of apium graveolens, punica granatum, and camellia sinensis extracts on plain carbon steel, Cogent Eng. 7 (2020) 1798579. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1798579>.
- [365] A. Saxena, K.K. Thakur, K.K. Saxena, S. Chambyal, A. Sharma, Electrochemical studies and surface examination of low carbon steel by applying the extract of Terminalia chebula, Mater. Today Proc. 26 (2020) 1360–1367. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.276>.
- [366] A.S.I. Ahmed, W.A. Ghanem, W.A. Hussein, G.A. Gaber, Evaluation of some inorganic anions and organic compounds as corrosion inhibitors of Cu-Zn alloys in H₂SO₄ and HNO₃ solutions, Arch. Metall. Mater. 65 (2020) 639–651. <https://doi.org/10.24425/amm.2020.132803>.
- [367] I.M. Chung, S.H. Kim, M. Prabakaran, Evaluation of Phytochemical, Polyphenol Composition and Anti-corrosion Capacity of Cucumis anguria L. Leaf Extract on Metal Surface in Sulfuric Acid Medium, Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces. 56 (2020) 214–224. <https://doi.org/10.1134/S2070205120010050>.
- [368] R. Haldhar, D. Prasad, N. Bhardwaj, Surface Adsorption and Corrosion Resistance Performance of Acacia concinna Pod Extract: An Efficient Inhibitor for Mild Steel in Acidic Environment, Arab. J. Sci. Eng. 45 (2020) 131–141. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04270-2>.
- [369] R.S. Nathiya, S. Perumal, V. Murugesan, V. Raj, Evaluation of extracts of Borassus flabellifer dust as green inhibitors for aluminium corrosion in acidic media, Mater. Sci. Semicond. Process. 104 (2019) 104674. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.104674>.
- [370] M. Ramananda Singh, P. Gupta, K. Gupta, The litchi (Litchi Chinensis) peels extract as a potential green inhibitor in prevention of corrosion of mild steel in 0.5 M H₂SO₄ solution, Arab. J. Chem. 12 (2019) 1035–1041. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.01.002>.
- [371] A.A. Ganash, Comparative evaluation of anticorrosive properties of Mahaleb seed extract on carbon steel in two acidic solutions, Materials (Basel). 12 (2019) 3013. <https://doi.org/10.3390/ma12183013>.

- [372] T. Sathiyapriya, G. Rathika, M. Dhandapani, In depth analysis of anti corrosion behaviour of eco friendly gum exudate for mild steel in sulphuric acid medium, *J. Adhes. Sci. Technol.* 33 (2019) 2443–2461. <https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1645261>.
- [373] A. Valbon, B.F. Ribeiro, M.A.F. Soares, M.C.C. de Oliveira, M.A. Neves, A. Echevarria, Extrato de hibisco-colibri como inibidor verde de corrosão do aço carbono em ácido sulfúrico, *Quim. Nova.* XY (2019) 1–6. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170378>.
- [374] A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, Use of *Syzygium aromaticum* extract as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5M H₂SO₄, *Surf. Rev. Lett.* 26 (2019) 1850200. <https://doi.org/10.1142/S0218625X18502001>.
- [375] R. Haldhar, D. Prasad, N. Bhardwaj, Extraction and experimental studies of *Citrus aurantifolia* as an economical and green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media, *J. Adhes. Sci. Technol.* 33 (2019) 1169–1183. <https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1585030>.
- [376] E.A. Flores-Frias, V. Barba, M.A. Lucio-Garcia, R. Lopez-Cecenes, J. Porcayo-Calderon, J.G. Gonzalez-Rodriguez, Use of Curcuma and Curcumin as a green corrosion inhibitors for carbon steel in sulfuric acid, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 5026–5041. <https://doi.org/10.20964/2019.06.53>.
- [377] E.E. El-Katori, S. Al-Mhyawi, Assessment of the *Bassia muricata* extract as a green corrosion inhibitor for aluminum in acidic solution, *Green Chem. Lett. Rev.* 12 (2019) 31–48. <https://doi.org/10.1080/17518253.2019.1569728>.
- [378] L.A.C. Matos, M.C. Taborda, E. Do Prado Banczek, E. D’Elia, P.R.P. Rodrigues, Aqueous agro-industrial waste as corrosion inhibitor for stainless steel AISI 304 in acidic media, *Mater. Res.* 22 (2019) e20180695. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0695>.
- [379] A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, Investigation of corrosion inhibition effect and adsorption activities of *Cuscuta reflexa* extract for mild steel in 0.5 M H₂SO₄, *Bioelectrochemistry.* 124 (2018) 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2018.07.006>.
- [380] R. Haldhar, D. Prasad, A. Saxena, A. Kaur, Corrosion resistance of mild steel in 0.5 M H₂SO₄ solution by plant extract of *Alkana tinctoria*: Experimental and theoretical studies, *Eur. Phys. J. Plus.* 133 (2018) 356. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2018-12165-0>.
- [381] R. Haldhar, D. Prasad, A. Saxena, R. Kumar, Experimental and theoretical studies of *Ficus religiosa* as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄ solution, *Sustain. Chem. Pharm.* 9 (2018) 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.07.002>.
- [382] T.K. Bhuvaneswari, V.S. Vasantha, C. Jeyaprabha, *Pongamia Pinnata* as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1N Sulfuric Acid Medium, *Silicon.* 10 (2018) 1793–1807.

<https://doi.org/10.1007/s12633-017-9673-3>.

- [383] R. Haldhar, D. Prasad, A. Saxena, *Armoracia rusticana* as sustainable and eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 0.5M sulphuric acid: Experimental and theoretical investigations, *J. Environ. Chem. Eng.* 6 (2018) 5230–5238. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.025>.
- [384] A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, Investigation of Corrosion Inhibition Effect and Adsorption Activities of *Achyranthes aspera* Extract for Mild Steel in 0.5 M H₂SO₄, *J. Fail. Anal. Prev.* 18 (2018) 957–968. <https://doi.org/10.1007/s11668-018-0491-8>.
- [385] X. Zheng, M. Gong, Q. Li, L. Guo, Corrosion inhibition of mild steel in sulfuric acid solution by loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) leaves extract, *Sci. Rep.* 8 (2018) 9140. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27257-9>.
- [386] R. Haldhar, D. Prasad, A. Saxena, P. Singh, *Valeriana wallichii* root extract as a green & sustainable corrosion inhibitor for mild steel in acidic environments: Experimental and theoretical study, *Mater. Chem. Front.* 2 (2018) 1225–1237. <https://doi.org/10.1039/c8qm00120k>.
- [387] A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, Use of *Asparagus racemosus* extract as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄, *J. Mater. Sci.* 53 (2018) 8523–8535. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2123-9>.
- [388] A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, G. Singh, A. Kumar, Use of *Saraca ashoka* extract as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄, *J. Mol. Liq.* 258 (2018) 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.104>.
- [389] S.O. Anuchi, N.C. Ngobiri, Corrosion inhibition of mild steel in a H₂SO₄ solution by piper guineense squeezed extract, *Port. Electrochim. Acta.* 36 (2018) 285–291. <https://doi.org/10.4152/pea.201804285>.
- [390] R. Haldhar, D. Prasad, A. Saxena, *Myristica fragrans* extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄ solution, *J. Environ. Chem. Eng.* 6 (2018) 2290–2301. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.023>.
- [391] A. Rodríguez-Torres, O. Olivares-Xometl, M.G. Valladares-Cisneros, J.G. González-Rodríguez, Effect of green corrosion inhibition by *Prunus persica* on AISI 1018 carbon steel in 0.5M H₂SO₄, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 3023–3049. <https://doi.org/10.20964/2018.03.40>.
- [392] L.A.C. Matos, M.C. Taborda, G.J.T. Alves, M.T. da Cunha, E. do P. Banczek, M. de F. Oliveira, E. D'Elia, P.R.P. Rodrigues, Application of an acid extract of Barley agro-industrial waste as a corrosion inhibitor for stainless steel AISI 304 in H₂SO₄, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 1577–1593. <https://doi.org/10.20964/2018.02.01>.
- [393] A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, G. Singh, A. Kumar, Use of *Sida cordifolia* extract as green

- corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄, J. Environ. Chem. Eng. 6 (2018) 694–700. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.064>.
- [394] M. Tezeghdenti, N. Etteyeb, L. Dhouibi, O. Kanoun, Sustainable use of natural resources as alternative for the hazardous corrosion inhibitor of mild steel/dilute sulfuric acid interface: Weight loss, eis, afm and ftir studies, Arch. Metall. Mater. 63 (2018) 697–707. <https://doi.org/10.24425/122396>.
- [395] A.M. Hefnawy, S.F. Abdellah Ali, Arghel Extract: a Promising Green Corrosion Inhibitor, Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces. 53 (2017) 1120–1124. <https://doi.org/10.1134/S2070205117060107>.
- [396] A. Saxena, D. Prasad, R. Haldhar, Use of Butea monosperma extract as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H₂SO₄, Int. J. Electrochem. Sci. 12 (2017) 8793–8805. <https://doi.org/10.20964/2017.09.63>.
- [397] M. Prabakaran, S.H. Kim, N. Mugila, V. Hemapriya, K. Parameswari, S. Chitra, I.M. Chung, Aster koraiensis as nontoxic corrosion inhibitor for mild steel in sulfuric acid, J. Ind. Eng. Chem. 52 (2017) 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.03.052>.
- [398] X. Zheng, M. Gong, Q. Li, Corrosion inhibition of mild steel in sulfuric acid solution by Houltuynia cordata extract, Int. J. Electrochem. Sci. 12 (2017) 6232–6244. <https://doi.org/10.20964/2017.07.03>.
- [399] M. Tezeghdenti, N. Etteyeb, L. Dhouibi, O. Kanoun, A. Al-Hamri, Natural products as a source of environmentally friendly corrosion inhibitors of mild steel in dilute sulphuric acid: Experimental and computational studies, Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces. 53 (2017) 753–764. <https://doi.org/10.1134/S2070205117040219>.
- [400] P. Muthukrishnan, B. Jeyaprabha, P. Prakash, Adsorption and corrosion inhibiting behavior of Lannea coromandelica leaf extract on mild steel corrosion, Arab. J. Chem. 10 (2017) S2343–S2354. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.08.011>.
- [401] M. Gobara, B. Zaghloul, A. Baraka, M. Elsayed, M. Zorainy, M.M. Kotb, H. Elnabarawy, Green corrosion inhibition of mild steel to aqueous sulfuric acid by the extract of Corchorus olitorius stems, Mater. Res. Express. 4 (2017) 046504. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa664a>.
- [402] M.Y. Díaz-Cardenas, M.G. Valladares-Cisneros, S. Lagunas-Rivera, V.M. Salinas-Bravo, R. Lopez-Sesenes, J.G. Gonzalez-Rodríguez, Peumus boldus extract as corrosion inhibitor for carbon steel in 0.5 M sulfuric acid, Green Chem. Lett. Rev. 10 (2017) 257–268. <https://doi.org/10.1080/17518253.2017.1369167>.
- [403] M.S. Cheyad, T.A. Salman, Characterization and study the inhibition activity of pomegranate peel extract for α -brass corrosion in H₂SO₄ solution, Orient. J. Chem. 33 (2017) 1241–1251.

<https://doi.org/10.13005/ojc/330323>.

- [404] A. Salhi, A. Bouyanzer, A. Chetouani, S. El Barkany, H. Amhamdi, I. Hamdani, A. Zarrouk, B. Hammouti, J.M. Desjobert, J. Costa, Chemical composition of essential oil and antioxidant and anti-corrosion activity of extract and essential oil of Pennyroyal Mint (*Mentha pulegium*, MP), Moroccan J. Chem. 5 (2017) 59–71.
- [405] A. Pradityana, Sulistijono, A. Shahab, L. Noerochim, Sarang semut (*Myrmecodia pendans*) extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in acid solution, Int. J. Technol. 8 (2017) 48–57. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i1.3400>.
- [406] M.K. Bagga, R. Gadi, O.S. Yadav, R. Kumar, R. Chopra, G. Singh, Investigation of phytochemical components and corrosion inhibition property of *Ficus racemosa* stem extract on mild steel in H₂SO₄ medium, J. Environ. Chem. Eng. 4 (2016) 4699–4707. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.10.022>.
- [407] A. Fattah-Alhosseini, B. Hamrahi, Effect of Thyme Leaves Hydroalcoholic Extract on Corrosion Behavior of API 5L Carbon Steel in 0.5M H₂SO₄, Anal. Bioanal. Electrochem. 8 (2016) 535–546.
- [408] M. Prabakaran, S.H. Kim, V. Hemapriya, I.M. Chung, Evaluation of polyphenol composition and anti-corrosion properties of *Cryptostegia grandiflora* plant extract on mild steel in acidic medium, J. Ind. Eng. Chem. 37 (2016) 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.03.006>.
- [409] S.M. Ali, H.A. Al-Lehaibi, The inhibitive performance of Fenugreek for corrosion of copper and nickel in sulfuric acid, Int. J. Electrochem. Sci. 11 (2016) 953–966. <https://doi.org/10.21608/absb.2020.45897.1089>.
- [410] A. Rodríguez-Torres, M.G. Valladares-Cisneros, J.G. González-Rodríguez, *Medicago sativa* as a green corrosion inhibitor for 1018 carbon steel in 0.5 M H₂SO₄ solution, Green Chem. Lett. Rev. 9 (2016) 143–155. <https://doi.org/10.1080/17518253.2016.1195017>.
- [411] M. Prabakaran, S.H. Kim, V. Hemapriya, M. Gopiraman, I.S. Kim, I.M. Chung, *Rhus verniciflua* as a green corrosion inhibitor for mild steel in 1 M H₂SO₄, RSC Adv. 6 (2016) 57144–57153. <https://doi.org/10.1039/c6ra09637a>.
- [412] J.O. Okeniyi, C.A. Loto, A.P.I. Popoola, Total-corrosion effects of *anthocleista djalensis* and *na2cr2o7* on steel-rebar in h₂so₄: sustainable corrosion-protection prospects in microbial/industrial environment, in: Towar. Mater. Resour. Sustain., Nashville, TN, USA, 2016: pp. 187–192. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48768-7_27.
- [413] J. Bhawsar, P.K. Jain, P. Jain, Experimental and computational studies of *Nicotiana tabacum* leaves extract as green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium, Alexandria Eng. J. 54

- (2015) 769–775. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.03.022>.
- [414] I.B. De Barros, H.Z.L. Moscoso, D.L. Custódio, V.F. Veiga, I.N. Bastos, Aniba canelilla as corrosion inhibitor of carbon steel, *Rev. Virtual Quim.* 7 (2015) 1743–1755. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150099>.
- [415] M. Mehdipour, B. Ramezanzadeh, S.Y. Arman, Electrochemical noise investigation of Aloe plant extract as green inhibitor on the corrosion of stainless steel in 1M H₂SO₄, *J. Ind. Eng. Chem.* 21 (2015) 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.02.041>.
- [416] X. Zhou, W. Wang, J. Li, H. Fei, G. Song, Electrochemical And Weight Loss Studies Of Extract From Mint As Green Corrosion Inhibitor For Carbon Steel In H₂SO₄ Solution, in: *Int. Conf. Mater. Eng. Inf. Technol. Appl.*, 2015: pp. 227–232. <https://doi.org/10.2991/meita-15.2015.43>.
- [417] N.C. Ngobiri, E.E. Oguzie, Y. Li, L. Liu, N.C. Oforka, O. Akaranta, Eco-friendly corrosion inhibition of pipeline steel using brassica oleracea, *Int. J. Corros.* 2015 (2015) 404139. <https://doi.org/10.1155/2015/404139>.
- [418] N.S. Patel, D. Šnita, Ethanol extracts of *Hemidesmus indicus* leaves as eco-friendly inhibitor of mild steel corrosion in H₂SO₄ medium, *Chem. Pap.* 68 (2014) 1747–1754. <https://doi.org/10.2478/s11696-014-0625-8>.
- [419] E. Rodriguez-Clemente, J.G. Gonzalez-Rodriguez, M.G. Valladares-Cisneros, *Allium sativum* as corrosion inhibitor for carbon steel in sulfuric acid, *Int. J. Electrochem. Sci.* 9 (2014) 5924–5936.
- [420] M. Pitchaipillai, K. Raj, J. Balasubramanian, P. Periakaruppan, Benevolent behavior of *Kleinia grandiflora* leaf extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in sulfuric acid solution, *Int. J. Miner. Metall. Mater.* 21 (2014) 1083–1095. <https://doi.org/10.1007/s12613-014-1013-7>.
- [421] P. Mourya, S. Banerjee, M.M. Singh, Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by *Tagetes erecta* (Marigold flower) extract as a green inhibitor, *Corros. Sci.* 85 (2014) 352–363. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.036>.
- [422] A.E.K. Benmenine, M.R. Ouahrani, N. Gherraf, M.L. Sekirifa, L. Baameur, Anticorrosive action study of retama retam extracts on mild steel X 52 in 20% H₂SO₄ solution, *Energy Procedia.* 50 (2014) 401–405. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.048>.
- [423] R. Suarez-Hernandez, J.G. Gonzalez-Rodriguez, G.F. Dominguez-Patiño, A. Martinez-Villafañe, Use of *Opuntia ficus* extract as a corrosion inhibitor for carbon steel in acidic media, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 61 (2014) 224–231. <https://doi.org/10.1108/ACMM-01-2013-1238>.
- [424] M. Ramírez-Arteaga, M.G. Valladares, J.G. González Rodríguez, Use of *prosopis laevigata* as a corrosion inhibitor for Al in H₂SO₄, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 6864–6877.

- [425] A. Gülşen, Corrosion inhibition of mild steel by *Laurus nobilis* leaves extract as green inhibitor, *Res. Chem. Intermed.* 38 (2012) 1311–1321. <https://doi.org/10.1007/s11164-011-0451-3>.
- [426] N.O. Obi-Egbedi, I.B. Obot, S.A. Umoren, *Spondias mombin* L. as a green corrosion inhibitor for aluminium in sulphuric acid: Correlation between inhibitive effect and electronic properties of extracts major constituents using density functional theory, *Arab. J. Chem.* 5 (2012) 361–373. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.09.002>.
- [427] A.U. Ezeoke, N.O. Obi-Egbedi, C.B. Adeosun, O.G. Adeyemi, Synergistic effect of leaf extracts of *Cordia sebestena* L. and iodide ions on the corrosion inhibition of mild steel in sulphuric acid, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 5339–5355.
- [428] H. Cang, W. Shi, J. Shao, Q. Xu, Study of *Stevia rebaudiana* leaves as green corrosion inhibitor for mild steel in sulphuric acid by electrochemical techniques, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 3726–3736.
- [429] I.B. Obot, E.E. Ebenso, Z.M. Gasem, Eco-friendly Corrosion Inhibitors: Adsorption and Inhibitive Action of Ethanol Extracts of *Chomolaena Odorata* L. for the Corrosion of Mild Steel in H₂SO₄ Solutions, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 1997–2008.
- [430] B. Tang, Evaluation of Corrosion Inhibition Effect of white mulberry leaves extract on HRB500 Carbon Steel in Alkaline Chloride Solutions, *Int. J. Electrochem. Sci.* 15 (2020) 12524–12533. <https://doi.org/10.20964/2020.12.11>.
- [431] S. Akbarzadeh, M. Ramezanzadeh, B. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, Detailed atomic/molecular-level/electronic-scale computer modeling and electrochemical explorations of the adsorption and anti-corrosion effectiveness of the green nitrogen-based phytochemicals on the mild steel surface in the saline solution, *J. Mol. Liq.* 319 (2020) 114312. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114312>.
- [432] B. Nematian, S.A. Ahmad Ramazani, M. Mahdavian, G. Bahlakeh, S.A. Haddadi, Adsorption of eco-friendly *carthamus tinctorius* on steel surface in saline solution: A combination of electrochemical and theoretical studies, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 601 (2020) 125042. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125042>.
- [433] M.T. Majd, M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, Steel corrosion lowering in front of the saline solution by a nitrogen-rich source of green inhibitors: Detailed surface, electrochemical and computational studies, *Constr. Build. Mater.* 254 (2020) 119266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119266>.
- [434] M. Lebrini, F. Suedile, P. Salvin, C. Roos, A. Zarrouk, C. Jama, F. Bentiss, *Bagassa guianensis* ethanol extract used as sustainable eco-friendly inhibitor for zinc corrosion in 3% NaCl: Electrochemical and XPS studies, *Surfaces and Interfaces.* 20 (2020) 100588.

<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100588>.

- [435] N. Asadi, M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, Theoretical MD/DFT computer explorations and surface-electrochemical investigations of the zinc/iron metal cations interactions with highly active molecules from Lemon balm extract toward the steel corrosion retardation in saline solution, *J. Mol. Liq.* 310 (2020) 113220. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113220>.
- [436] R.H. Khaled, A.M. Abdel-Gaber, H.T. Rahal, R. Awad, A potential green anti-scaling and corrosion inhibitor for mild steel in Brine solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 15 (2020) 6790–6801. <https://doi.org/10.20964/2020.07.54>.
- [437] R.A. Limco, H.P. Bacosa, A.A. Lubguban, J.S. Buluran, *Morinda citrifolia* (Noni) leaf extract as corrosion inhibitor for steel-reinforced concrete in saline environment, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 17 (2020) 4531–4540. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02795-w>.
- [438] A. Esquivel-Rojas, C. Cuevas-Arteaga, M.G. Valladares-Cisneros, Study of corrosion inhibition of copper in synthetic seawater by *Equisetum arvense* as green corrosion inhibitor, *Rev. Mex. Ing. Química*. 19 (2020) 603–616. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Mat629>.
- [439] A.M. El-Shamy, M.A. El-Hadek, A.E. Nassef, R.A. El-Bindary, Optimization of the Influencing Variables on the Corrosion Property of Steel Alloy 4130 in 3.5 wt.% NaCl Solution, *J. Chem.* 2020 (2020) 20. <https://doi.org/10.1155/2020/9212491>.
- [440] M.A. Deyab, E. Guibal, Enhancement of corrosion resistance of the cooling systems in desalination plants by green inhibitor, *Sci. Rep.* 10 (2020) 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61810-9>.
- [441] R.H. Khaled, A.M. Abdel-Gaber, H.T. Rahal, R. Awad, Static and electrochemical performance of ecofriendly extract as antiscalant and corrosion inhibitor in desalination plants, *Desalin. Water Treat.* 180 (2020) 117–125. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25075>.
- [442] M. Ben Harb, S. Abubshait, N. Etteyeb, M. Kamoun, A. Dhouib, Olive leaf extract as a green corrosion inhibitor of reinforced concrete contaminated with seawater, *Arab. J. Chem.* 13 (2020) 4846–4856. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.01.016>.
- [443] P. Refait, C. Rahal, M. Masmoudi, Corrosion inhibition of copper in 0.5 M NaCl solutions by aqueous and hydrolysis acid extracts of olive leaf, *J. Electroanal. Chem.* 859 (2020) 113834. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.113834>.
- [444] M. Barbouchi, B. Benzidia, M. El Idrissi, M. Choukrad, Iron corrosion green inhibition in a 3% NaCl solution, by leaves extract from *pistacia terebinthus* L. Growing wild in Morocco, *Port. Electrochim. Acta.* 38 (2020) 175–184. <https://doi.org/10.4152/pea.202003175>.
- [445] N. Palaniappan, I. Cole, F. Caballero-Briones, S. Manickam, K.R. Justin Thomas, D. Santos,

- Experimental and DFT studies on the ultrasonic energy-assisted extraction of the phytochemicals of: *Catharanthus roseus* as green corrosion inhibitors for mild steel in NaCl medium, RSC Adv. 10 (2020) 5399–5411. <https://doi.org/10.1039/c9ra08971c>.
- [446] M.T. Majd, M. Ramezanzadeh, B. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, Production of an environmentally stable anti-corrosion film based on Esfand seed extract molecules-metal cations: Integrated experimental and computer modeling approaches, J. Hazard. Mater. 382 (2020) 121029. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121029>.
- [447] Elfidiyah, D. Kharismadewi, E. Yuliwati, Wuluh starfruit (*Averrhoa bilimbi* linn.) leaves extract as green corrosion inhibitor in reinforced steel, J. Phys. Conf. Ser. 1444 (2020) 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012003>.
- [448] A.M. El-shamy, M.A. El-hadek, A.E. Nassef, R.A. El-bindary, Box-Behnken design to enhance the corrosion resistance of high strength steel alloy in 3.5 wt.% NaCl solution, Moroccan J. Chem. 4 (2020) 788–800.
- [449] R. Tambun, D.H. Sidabutar, V. Alexander, The potential of petai peel as a zinc corrosion inhibitor in sodium chloride solution, Int. J. Corros. Scale Inhib. 9 (2020) 929–940. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-3-8>.
- [450] M.A. Afandi, S.N. Saud, E. Hamzah, Green-based corrosion protection for mild steel in 3.5% NaCl and distilled water medias: *Jatropha curcas* and Roselle extracts, J. Met. Mater. Miner. 30 (2020) 91–104. <https://doi.org/10.14456/jmmm.2020.25>.
- [451] M.T. Majd, S. Akbarzadeh, M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, A detailed investigation of the chloride-induced corrosion of mild steel in the presence of combined green organic molecules of Primrose flower and zinc cations, J. Mol. Liq. 297 (2020) 111862. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111862>.
- [452] S.Y. Al-Nami, A.E.A.S. Fouda, *Kalanchoe blossfeldina* extract as a green corrosion inhibitor for carbon steel in Na₂S-polluted NaCl solutions, Int. J. Electrochem. Sci. 15 (2020) 535–547. <https://doi.org/10.20964/2020.01.78>.
- [453] M.B. Hegde, S.R. Nayak, K.N.S. Mohana, N.K. Swamy, *Garcinia gummigutta* Vegetable Oil-Graphene Oxide Nano-composite: An Efficient and Eco-friendly Material for Corrosion Prevention of Mild Steel in Saline Medium, J. Polym. Environ. 28 (2020) 483–499. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01611-y>.
- [454] M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, Study of the synergistic effect of *Mangifera indica* leaves extract and zinc ions on the mild steel corrosion inhibition in simulated seawater: Computational and electrochemical studies, J. Mol. Liq. 292 (2019) 111387. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111387>.

- [455] M. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, Elucidating detailed experimental and fundamental understandings concerning the green organic-inorganic corrosion inhibiting molecules onto steel in chloride solution, *J. Mol. Liq.* 290 (2019) 111212. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111212>.
- [456] M. Izadi, T. Shahrabi, I. Mohammadi, B. Ramezanzadeh, A. Fateh, The electrochemical behavior of nanocomposite organic coating based on clay nanotubes filled with green corrosion inhibitor through a vacuum-assisted procedure, *Compos. Part B Eng.* 171 (2019) 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.019>.
- [457] N.I.H. Salleh, A. Abdullah, Corrosion inhibition of carbon steel using palm oil leaves extract, *Indones. J. Chem.* 19 (2019) 747–752. <https://doi.org/10.22146/ijc.39707>.
- [458] N. Ammouchi, H. Allal, E. Zouaoui, K. Dob, D. Zouied, M. Bououdina, Extracts of *Ruta Chalepensis* as Green Corrosion Inhibitor for Copper CDA 110 in 3% NaCl medium: Experimental and Theoretical Studies, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 11 (2019) 830–850.
- [459] S.A. Haddadi, E. Alibakhshi, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, M. Mahdavian, A detailed atomic level computational and electrochemical exploration of the *Juglans regia* green fruit shell extract as a sustainable and highly efficient green corrosion inhibitor for mild steel in 3.5 wt% NaCl solution, *J. Mol. Liq.* 284 (2019) 682–699. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.045>.
- [460] A.S. Fouda, A. Emam, R. Refat, M.M. Nageeb, Eco-Friendly Plant Extract of *Medicago sativa* (Alfalfa) as Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Marine Environment, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* 55 (2019) 294–303. <https://doi.org/10.3103/S1068375519030074>.
- [461] B. Benzidia, H. Hammouch, A. Dermaj, H. Benassaoui, S. Abbout, N. Hajjaji, Investigation of green corrosion inhibitor based on aloe vera (*L. burm. F.*) for the protection of bronze B66 in 3% NaCl, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 11 (2019) 165–177.
- [462] L. Na, G. Hui, Z. Peng, Z. Xin, Z. Lihua, A. Singh, The extraction of a natural dye berberine and evaluation of its corrosion inhibition properties for P110SS steel, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 1830–1842. <https://doi.org/10.20964/2019.02.62>.
- [463] W.M.K.W.M. Ikhmal, M.F.M. Maria, W.A.W. Rafizah, W.N.W.M. Norsani, M.G.M. Sabri, Corrosion inhibition of mild steel in seawater through green approach using *leucaena leucocephala* leaves extract, *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 8 (2019) 628–643. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2019-8-3-12>.
- [464] S. Devikala, P. Kamaraj, M. Arthanareeswari, M.B. Patel, Green corrosion inhibition of mild steel by aqueous *Allium sativum* extract in 3.5% NaCl, *Mater. Today Proc.* 14 (2019) 580–589. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.182>.

- [465] M.A. Asaad, M. Ismail, M.M. Tahir, G.F. Huseien, P.B. Raja, Y.P. Asmara, Enhanced corrosion resistance of reinforced concrete: Role of emerging eco-friendly *Elaeis guineensis*/silver nanoparticles inhibitor, *Constr. Build. Mater.* 188 (2018) 555–568.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.140>.
- [466] A. Berrani, H. Nenassaoui, M. Zouarhi, A. Alrhorfi, N. Hajjaji, R. Bengueddour, Evaluation of inhibitory effect of the methanolic extract of the two parts from *anabasis aretioides* plant against the corrosion of E 24 steel in a neutral solution NaCl 3.5% Article, *Anal. Bioanal. Electrochem.* 10 (2018) 1299–1316.
- [467] N. Velazquez-Torres, H. Martinez, J. Porcayo-Calderon, E. Vazquez-Velez, O. Florez, B. Campillo, J.G. Gonzalez-Rodriguez, L. Martinez-Gomez, Effect of plasma pre-oxidation on the Cu corrosion inhibition in 3.5% NaCl by an environmentally friendly amide, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 8915–8930. <https://doi.org/10.20964/2018.09.07>.
- [468] S.P. Palanisamy, G. Maheswaran, A.G. Selvarani, C. Kamal, G. Venkatesh, *Ricinus communis* – A green extract for the improvement of anti-corrosion and mechanical properties of reinforcing steel in concrete in chloride media, *J. Build. Eng.* 19 (2018) 376–383.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.05.020>.
- [469] M.P. Casaletto, V. Figà, A. Privitera, M. Bruno, A. Napolitano, S. Piacente, Inhibition of Cor-Ten steel corrosion by “green” extracts of *Brassica campestris*, *Corros. Sci.* 136 (2018) 91–105.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.02.059>.
- [470] M. Ramezanzadeh, Z. Sanaei, G. Bahlakeh, B. Ramezanzadeh, Highly effective inhibition of mild steel corrosion in 3.5% NaCl solution by green Nettle leaves extract and synergistic effect of eco-friendly cerium nitrate additive: Experimental, MD simulation and QM investigations, *J. Mol. Liq.* 256 (2018) 67–83. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.021>.
- [471] L. Vrsalović, S. Gudić, D. Gracić, I. Smoljko, I. Ivanić, M. Kliškić, E.E. Oguzie, Corrosion protection of copper in sodium chloride solution using propolis, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 2102–2117. <https://doi.org/10.20964/2018.02.71>.
- [472] V. Grudić, I. Bošković, A. Gezović, Inhibition of copper corrosion in NaCl solution by propolis extract, *Chem. Biochem. Eng. Q.* 32 (2018) 299–305.
<https://doi.org/10.15255/CABEQ.2018.1357>.
- [473] N. Velazquez-Torres, H. Martinez, J. Porcayo-Calderon, E. Vazquez-Velez, J.G. Gonzalez-Rodriguez, L. Martinez-Gomez, Use of an amide-type corrosion inhibitor synthesized from the coffee bagasse oil on the corrosion of Cu in NaCl, *Green Chem. Lett. Rev.* 11 (2018) 1–11.
<https://doi.org/10.1080/17518253.2017.1404645>.
- [474] K. Nasr, M. Fedel, K. Essalah, F. Deflorian, N. Souissi, Experimental and theoretical study of

- Matricaria recutita chamomile extract as corrosion inhibitor for steel in neutral chloride media, *Anti-Corrosion Methods Mater.* 65 (2018) 292–309. <https://doi.org/10.1108/ACMM-12-2017-1869>.
- [475] E.E. Kaban, A. Maksum, S. Permana, J.W. Soedarsono, Utilization of secang heartwood (*caesalpinia sappan* L) as a green corrosion inhibitor on carbon steel (API 5L Gr. B) in 3.5% NaCl environment, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 105 (2018) 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012062>.
- [476] J.O. Okeniyi, A.P.I. Popoola, E.T. Okeniyi, *Cymbopogon citratus* and NaNO₂ Behaviours in 3.5% NaCl-Immersed Steel-Reinforced Concrete: Implications for Eco-Friendly Corrosion Inhibitor Applications for Steel in Concrete, *Int. J. Corros.* 2018 (2018) 11. <https://doi.org/10.1155/2018/5949042>.
- [477] S. Wang, B. Wu, L. Qiu, Y. Chen, J. Yuan, S. Chen, M. Bao, C. Fu, X. Wang, Inhibition effect of tangerine peel extract on J55 Steel in CO₂-saturated 3.5 wt. % NaCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 11195–11211. <https://doi.org/10.20964/2017.12.02>.
- [478] G. Bahlakeh, M. Ramezanzadeh, B. Ramezanzadeh, Experimental and theoretical studies of the synergistic inhibition effects between the plant leaves extract (PLE) and zinc salt (ZS) in corrosion control of carbon steel in chloride solution, *J. Mol. Liq.* 248 (2017) 854–870. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.10.120>.
- [479] Z. Sun, A. Singh, X. Xu, S. Chen, W. Liu, Y. Lin, Inhibition effect of pomelo peel extract for N80 steel in 3.5% NaCl saturated with CO₂ solution, *Res. Chem. Intermed.* 43 (2017) 6719–6736. <https://doi.org/10.1007/s11164-017-3017-1>.
- [480] A.E.A.S. Fouda, E.E. El-Katori, S. Al-Mhyawi, Methanol extract of *slanum nigrum* as eco-friendly corrosion inhibitor for zinc in sodium chloride polluted solutions, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 9104–9120. <https://doi.org/10.20964/2017.10.64>.
- [481] Z. Sanaei, T. Shahrabi, B. Ramezanzadeh, Synthesis and characterization of an effective green corrosion inhibitive hybrid pigment based on zinc acetate-*Cichorium intybus* L leaves extract (ZnA-CIL.L): Electrochemical investigations on the synergistic corrosion inhibition of mild steel in aqueous, *Dye. Pigment.* 139 (2017) 218–232. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.12.002>.
- [482] S. Chen, A. Singh, Y. Wang, W. Liu, K. Deng, Y. Lin, Inhibition effect of *Ilex kudingcha* C.J. Tseng (Kudingcha) extract on J55 steel in 3.5wt% NaCl solution saturated with CO₂, *Int. J. Electrochem. Sci.* 12 (2017) 782–796. <https://doi.org/10.20964/2017.01.21>.
- [483] V. Koundal, R. Haldhar, A. Saxena, D. Prasad, Natural non poisonous green inhibitor of *Glycyrrhiza glabra* for mild steel in 3.5% NaCl, *AIP Conf. Proc.* 1860 (2017) 1–6. <https://doi.org/10.1063/1.4990362>.

- [484] S.P. Palanisamy, G. Maheswaran, C. Kamal, G. Venkatesh, *Prosopis juliflora*—A green corrosion inhibitor for reinforced steel in concrete, *Res. Chem. Intermed.* 42 (2016) 7823–7840.
<https://doi.org/10.1007/s11164-016-2564-1>.
- [485] H. Wang, M. Gao, Y. Guo, Y. Yang, R. Hu, A natural extract of tobacco rob as scale and corrosion inhibitor in artificial seawater, *Desalination*. 398 (2016) 198–207.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.07.035>.
- [486] C. Rahal, M. Masmoudi, R. Abdelhedi, R. Sabot, M. Jeannin, M. Bouaziz, P. Refait, Olive leaf extract as natural corrosion inhibitor for pure copper in 0.5 M NaCl solution: A study by voltammetry around OCP, *J. Electroanal. Chem.* 769 (2016) 53–61.
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.03.010>.
- [487] T. Ibrahim, E. Gomes, I.B. Obot, M. Khamis, M. Abou Zour, Corrosion inhibition of mild steel by *Calotropis procera* leaves extract in a CO₂ saturated sodium chloride solution, *J. Adhes. Sci. Technol.* 30 (2016) 2523–2543. <https://doi.org/10.1080/01694243.2016.1185229>.
- [488] A. Pradityana, Sulistijono, A. Shahab, L. Noerochim, D. Susanti, Inhibition of Corrosion of Carbon Steel in 3.5% NaCl Solution by *Myrmecodia Pendans* Extract, *Int. J. Corros.* 2016 (2016) 6. <https://doi.org/10.1155/2016/6058286>.
- [489] J.O. Okeniyi, C.A. Loto, A.P.I. Popoola, Investigating the corrosion mechanism of *Morinda lucida* leaf extract admixtures on concrete steel rebar in saline/marine simulating environment, *Int. J. Electrochem. Sci.* 10 (2015) 9893–9906.
- [490] A. Singh, Y. Lin, E.E. Ebenso, W. Liu, J. Pan, B. Huang, *Ginkgo biloba* fruit extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for J55 steel in CO₂ saturated 3.5% NaCl solution, *J. Ind. Eng. Chem.* 24 (2015) 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.09.034>.
- [491] M.D.M. Zulhusni, N.K. Othman, A.M. Lazim, Enhancement of corrosion resistance of carbon steel by *Dioscorea Hippida* starch in NaCl, in: *AIP Conf. Proc.*, 2015: pp. 1–4.
<https://doi.org/10.1063/1.4931277>.
- [492] W. Liu, A. Singh, Y. Lin, E.E. Ebenso, G. Tianhan, C. Ren, Corrosion inhibition of Al-alloy in 3.5% NaCl solution by a natural inhibitor: An electrochemical and surface study, *Int. J. Electrochem. Sci.* 9 (2014) 5560–5573.
- [493] A. Singh, Y. Lin, W. Liu, D. Kuanhai, J. Pan, B. Huang, C. Ren, D. Zeng, A study on the inhibition of N80 steel in 3.5% NaCl solution saturated with CO₂ by fruit extract of *Ginkgo biloba*, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 45 (2014) 1918–1926.
<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.02.001>.
- [494] A. Pradityana, Sulistijono, A. Shahab, S. Chyntara, Eco-friendly green inhibitor of mild steel in

- 3,5% NaCl solution by Sarang Semut (*Myrmecodia Pendans*) extract, in: AIP Conf. Proc., 2014: pp. 161–164. <https://doi.org/10.1063/1.4897128>.
- [495] A. Pradityana, Sulistijono, D.A. Shahab, Application of myrmecodia pendans extract as a green corrosion inhibitor for mild steel in 3.5% NaCl solution, *Appl. Mech. Mater.* 493 (2014) 684–690. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.493.684>.
- [496] A. Singh, Y. Lin, W. Liu, D. Kuwanhai, E.E. Ebenso, J. Pan, Application of a natural inhibitor for corrosion inhibition of J55 steel in CO₂ saturated 3.5% NaCl solution, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 12851–12859.
- [497] C.A. Loto, O.O. Joseph, R.T. Loto, Inhibition effect of *Vernonia amygdalina* extract on the corrosion of mild steel reinforcement in concrete in 3.5M NaCl Environment, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 11087–11100.
- [498] M.B.M.C. Felipe, D.R. Silva, C.A. Martinez-Huitle, S.R.B. Medeiros, M.A.M. Maciel, Effectiveness of *Croton cajucara* Benth on corrosion inhibition of carbon steel in saline medium, *Mater. Corros.* 64 (2013) 530–534. <https://doi.org/10.1002/maco.201206532>.
- [499] A. Pradityana, S. Sulistijono, A. Shahab, Effectiveness of *Myrmecodia Pendans* extract as eco-friendly corrosion inhibitor for material API 5L grade B in 3,5% NaCl solution, *Adv. Mater. Res.* 789 (2013) 484–491. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.789.484>.
- [500] A. Rustandi, J.W. Soedarsono, B. Suharno, The use of mixture of piper betle and green tea as a green corrosion inhibitor for API X-52 steel in aerated 3.5 % NaCl solution at various rotation rates, *Adv. Mater. Res.* 383–390 (2012) 5418–5425. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.5418>.